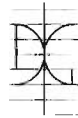



I.666 893
024

1



Autor / Author: Juan Carlos Ochoa Botero		Fecha / Date: Enero/January 2005
Título / Title: USO DEL LICOR DE PLANTAS AGAVACEAS COMO ADITIVO EN MORTEROS Y HORMIGONES DE CEMENTOS PORTLAND USE OF LICOUR FROM AGAVACEA PLANTS AS ADMIXTURE IN PORTLAND CEMENT MORTARS AND CONCRETE		
Directores trabajo / Supervisors: Dr. Jordi Payá Bernabeu Dr. María Victoria Borrachero Rosado		Código / Code No. CST/GIQUÍMICA-09 Nº páginas / No. pages 113
Departamento / Department: INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL		
Universidad / University: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA		 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA
Palabras clave / Keywords: licor de Agave, aditivos, inductor de aire, polímeros naturales, plasticidad, absorción de agua Agave licour, concrete admixture, air entraining agent, natural polymers, plasticity, water absorption		
Códigos UNESCO: 3305-05; 3313-04		

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Colombia por facilitar los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto.

A mis directores, Jordi Payá Bernabeu y María Victoria Borrachero Rosado, por su entusiasmo y dedicación en la realización del trabajo.

A todos los integrantes del Grupo de Investigación en Química de los Materiales de Construcción, por su presencia y acompañamiento.

A todos los que amo y me aman por permitir, sin condiciones, mi ausencia.



1
666.893
024

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	GENERALIDADES SOBRE EL AGAVE	8
1.2	LOS ADITIVOS EN MORTEROS Y HORMIGONES	10
1.2.1	Tipos de aditivos	11
1.2.2	Efectos de los aditivos en los morteros y hormigones de cemento Portland.	13
1.3	INVESTIGACIONES PREVIAS	20
2	OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	23
3	EXPERIMENTAL	25
3.1	MATERIALES	25
3.1.1	Cemento	25
3.1.2	Árido	25
3.1.3	Agua	25
3.1.4	Extracto de Agave	26
3.1.5	Aditivo Superplastificante	28
3.2	PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES Y EQUIPOS	31
3.2.1	Ensayos de caracterización Físico – Química	31
3.2.1.1	Extracto seco convencional	31
3.2.1.2	Pérdida por calcinación a $1050 \pm 25^\circ \text{C}$	32
3.2.1.3	Residuo insoluble en agua desionizada	34
3.2.1.4	Contenido de reductores (azúcares)	35
3.2.1.5	Contenido de Halogenuros totales	37
3.2.1.6	Conductividad	40
3.2.1.7	Peso Específico	41
3.2.1.8	pH	42
3.2.1.9	Termogravimetría y análisis térmico diferencial	43
3.2.1.10	Microscopía electrónica de barrido	44
3.2.1.11	Espectrofotometría Infrarroja	45
3.2.2	Ensayos en pastas de cemento	47
3.2.2.1	Consistencia normal y tiempos de fraguado	47
3.2.2.2	Viscosidad	50
3.2.3	Ensayos en morteros de cemento Portland	52
3.2.3.1	Tiempo de fraguado	52
3.2.3.2	Absorción Capilar	54
3.2.3.3	Índice de consistencia	57
3.2.3.4	Contenido de aire ocluido	59
3.2.3.5	Resistencias mecánicas en morteros	61
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
4.1	ESTUDIO DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA	64
4.1.1	Determinación del extracto seco convencional	64
4.1.2	Determinación de la pérdida por calcinación a $1050 \pm 25^\circ \text{C}$	65
4.1.3	Determinación del contenido de halogenuros totales	68
4.1.4	Conductividad	71

4.1.5	Determinación del contenido de reductores (azúcares)	72
4.1.6	Determinación del Peso Específico	74
4.1.7	Determinación del pH	75
4.1.8	Análisis Termogravimétrico y Análisis Térmico Diferencial.	78
4.1.9	Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).	82
4.1.10	Análisis Infrarrojo.	84
4.2	ESTUDIO EN PASTAS DE CEMENTO	86
4.2.1	Determinación de la consistencia normal utilizando extracto de Agave ...	86
4.2.2	Viscosidad	88
4.2.3	Determinación de tiempo de fraguado en pastas utilizando extracto de Agave	89
4.3	ESTUDIOS EN MORTEROS DE CEMENTO PÓRTLAND CEM I – 52.5	90
4.3.1	Determinación del índice de consistencia en morteros utilizando extracto de Agave y superplastificante	91
4.3.2	Determinación del tiempo de fraguado en morteros utilizando extracto de Agave y superplastificante	93
4.3.3	Determinación de la absorción capilar utilizando a 7 días de curado utilizando extracto de Agave y superplastificante.	95
4.3.4	Determinación del contenido de aire ocluido utilizando extracto de Agave y superplastificante	97
4.3.5	Determinación de las resistencias mecánicas de morteros fabricados con licor de Agave y superplastificante	101
4.3.5.1	Resistencia a flexo-tracción	101
4.3.5.2	Resistencia a compresión	103
5	CONCLUSIONES	106
6	REFERENCIAS	110

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. <i>Agave americana</i> (Valencia – España)	9
Ilustración 2. Extracción de la fibra de fique. Valle - Colombia	10
Ilustración 3. Secciones de la Hoja de <i>Agave</i>	27
Ilustración 4. Cápsulas de evaporación, desecador y embudo de placa filtrante	32
Ilustración 5. Estufa con ventilación forzada con regulador termostático $105 \pm 3^{\circ} \text{C}$	32
Ilustración 6. Balanza analítica	32
Ilustración 7. Horno de mufla	34
Ilustración 8. Crisoles de platino	40
Ilustración 9. Equipo para medir la conductividad	41
Ilustración 10. pH-metro de sensibilidad 0,01 unidades de pH	42
Ilustración 11. Termobalanza TGA 850 Mettler- Toledo	44
Ilustración 12. Microscopio electrónico de barrido SEM	45
Ilustración 13. Espectrómetro Mattson Generis II F.T.I.R.	46
Ilustración 14. Aparato de Vicat	49
Ilustración 15. Aguja para determinar el tiempo inicial de fraguado en pastas y morteros de cemento	49
Ilustración 16. Sonda para determinar el agua de consistencia normal en pastas de cemento	50
Ilustración 17. Aguja para determinar el tiempo final de fraguado en pastas de cemento	50
Ilustración 18. Viscosímetro Bohlin Visco 88 BV	52
Ilustración 19. Mezclador de laboratorio Hidolph Type RZR1, con hélice con doble pala helicoidal	52
Ilustración 20. Detalle de la hélice	52
Ilustración 21. Recipiente para conservar las probetas en contacto con un nivel de agua constante en el ensayo de absorción capilar	56
Ilustración 22. Recipiente climatizado para curado de probetas en el ensayo de absorción capilar	56
Ilustración 23. Amasadora para morteros	58
Ilustración 24. Mesa de sacudidas	58
Ilustración 25. Aerómetro para morteros	61
Ilustración 26. Moldes para probetas de mortero	63
Ilustración 27. Compactadora de probetas de mortero	63
Ilustración 28. Prensa para ensayos de resistencia a flexotracción	63
Ilustración 29. Prensa para ensayos de resistencia a compresión	63
Ilustración 30. Fotografía microscópica y espectro del residuo calcinado del licor de la hoja de agave con piel	83
Ilustración 31. Fotografía microscópica y espectro del residuo calcinado del licor de la hoja de agave sin piel	83
Ilustración 32. Fotografía microscópica y espectro del extracto liofilizado del licor de la hoja de agave con piel	83
Ilustración 33. Fotografía microscópica y espectro del extracto liofilizado del licor de la hoja de agave sin piel	83
Ilustración 34. Fotografía microscópica y espectro del extracto seco del licor de la hoja de agave sin piel	84

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Extracto Seco Convencional en Agave.....	67
Gráfico 2. Residuo de extracto seco de Agave después de calcinado	70
Gráfico 3. pH en licor de Agave puro	77
Gráfico 4. pH en licor a Agave disuelto en agua desionizada	77
Gráfico 5. Análisis Termogravimétrico (curvas TG) para licor de Agave seco con piel, sin piel y liofilizado con piel.....	79
Gráfico 6. Análisis Termogravimétrico (curvas DTG) para licor de Agave seco con piel, sin piel y liofilizado con piel.....	79
Gráfico 7. Análisis Termico Diferencial (curvas SDTA) para licor de Agave seco con piel, sin piel y liofilizado con piel	79
Gráfico 8. Espectro Infrarrojo del Licor de Agave Seco y Liofilizado	86
Gráfico 9. Efecto del licor del Agave y el SPS en la viscosidad de las pastas.....	89
Gráfico 10. Absorción capilar a 7 días de curado.....	96
Gráfico 11. Aire Ocluido.....	99
Gráfico 12. Densidad de los morteros.....	100
Gráfico 13. Evolución de las Resistencias a Flexotracción con el tiempo de curado a 20°C.....	103
Gráfico 14. Evolución de las Resistencias a Compresión con el tiempo de curado a 20°C.	104
Gráfico 15. Resistencia a compresión a igual consistencia. Comparativo entre el 75% del mortero testigo y el mortero con licor de Agave	105



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del cemento utilizado (%)	25
Tabla 2. Análisis Químico del Agua de Amasado	26
Tabla 3. Características de Dimensión y Peso de las Hojas de <i>Agave</i>	29
Tabla 4. Peso del Licor Extraído	30
Tabla 5. Determinación del Extracto Seco Convencional en <i>Agave</i>	66
Tabla 6. Determinación de la pérdida por calcinación a $1050 \pm 25^{\circ} \text{C}$ del extracto seco convencional del <i>Agave</i> y del <i>SPs</i>	69
Tabla 7. Determinación del Contenido de Halogenuros Totales.....	71
Tabla 8. Determinación de la Conductividad en Extracto Seco de <i>Agave</i> y en un <i>SPs</i> ...	72
Tabla 9. Valores límite de glucosa y almidón, por peso de cemento, utilizado en mezclas	74
Tabla 10. Determinación del peso específico.....	75
Tabla 11. Determinación de pH en el licor de <i>Agave</i> y <i>SPs</i>	76
Tabla 12. Resultados del Análisis Termogravimétrico y Térmico Diferencial del extracto seco de <i>Agave</i> con piel	80
Tabla 13. Resultados del Análisis Termogravimétrico y Térmico Diferencial del extracto liofilizado de <i>Agave</i> con piel	81
Tabla 14. Resultados del Análisis Termogravimétrico y Térmico Diferencial del extracto seco de <i>Agave</i> sin piel	81
Tabla 15. Determinación de la Consistencia Normal en la pasta de cemento con licor de <i>Agave</i>	87
Tabla 16. Determinación de los tiempos inicial y final de fraguado en las pastas de cemento.....	90
Tabla 17. Denominación de muestras de mortero.....	91
Tabla 18. Determinación de la Consistencia, Aumento de la Consistencia y Reducción del Agua de Amasado	93
Tabla 19. Determinación de los tiempos inicial y final de fraguado en morteros	95
Tabla 20. Determinación de la absorción capilar en mortero a 7 días de curado	96
Tabla 21. Determinación del aire ocluido.....	98
Tabla 22. Densidad de morteros después de 24 horas de curado en cámara húmeda..	100
Tabla 23. Resistencias a flexotracción en morteros fabricados con licor de <i>Agave</i> y <i>SPs</i>	102
Tabla 24. Resistencias a Compresión en morteros fabricados con licor de <i>Agave</i> y <i>SPs</i>	104

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades sobre el *Agave*

Los *Agave* son plantas decorativas y con importancia industrial en el caso de algunas especies. Son originarias de América y se encuentran particularmente introducidas en España (especialmente el *Agave americana*), así como en muchos otros países del Sur de Europa, del Norte y Sur de África.

Su tallo es corto e incluso inexistente en muchos casos. Las hojas, dispuestas en roseta, son duras y más o menos carnosas, con los márgenes dentados en muchas ocasiones y acabando generalmente en una dura espina terminal¹.

La planta dentro de la botánica general puede ser clasificada así: Reino: vegetal; Phylum: Tracheophyta; Clase: Spermatophyta; Clase: Angiospermae; Subclase: Monocotyledonae; Orden: Liliiflorae; Familia: Agavaceae. El género *Agave* comprende un centenar de especies algunas de las cuales son muy grandes (hojas de 1 metro, incluso más) mientras otras sólo miden unos centímetros.

El *Agave americana* es la más conocida y pertenece al paisaje mediterráneo. Mide de 2 a 3 m de ancho, las hojas son gruesas, lanceoladas de color azulado y se hallan bordeadas de espinas. Pueden llegar a medir más de 1,75 m de largo y 30 cm., de ancho. En la Ilustración 1 se presenta una fotografía de una planta de *Agave* de la cuál se extrajeron algunas hojas para ser utilizadas en esta investigación.

Ilustración 1. *Agave americana* (Valencia – España)



Algunos géneros próximos son clasificados dentro de los *Agave*. Tal es el caso de la *Fourcroya* que en algunos países suramericanos, especialmente en Colombia, se explota de forma comercial. De sus hojas se extrae una fibra conocida con distintos nombres: fique, cabuya, sisal o pita, que es utilizada industrialmente en la fabricación de empaques y de manera secundaria en la producción de hilados y tejidos artesanales. Los sacos de fibra se destinan al empaque de café, arroz, maíz, frijol, panela, papas, etc. La tela de cabuya es burda y se utiliza para enfardelar otros productos; las cuerdas se usan en la industria en general, en trabajos agrícolas, en la marina; los lazos en labores campestres, elaboración de redes, cabestros, cinchas y otros productos de arriería. También se utiliza la fibra para hacer tapices, sombreros, zapatos y otros materiales de artesanía. Recientemente, se ha introducido la utilización de geomantos para el control de la erosión.

El beneficio, extracción y fases de preparación hasta obtener la fibra de fique, consiste básicamente en: lavado y secado de la fibra a partir de la hoja o penca de la planta, para lo cual las operaciones son en su orden: corte, despuntado, transporte hasta la máquina desfibradora, desfibrado, lavado de la fibra, secado de la fibra, empaque en haces o manojos y conformación de pacas.

Se estima que las hojas de *fique* rinden en el proceso extractivo de la fibra un porcentaje máximo de 5% como fibra seca, lo que deja un remanente, del 95%, como subproducto. Actualmente, este material no es utilizado y las máquinas existentes tampoco permiten su recolección, constituyéndose en un desecho que por su composición se convierte en un gran contaminante de las fuentes de agua. Este subproducto contiene 73.2% de jugos o licor de fique. Adicionalmente tiene cloroplastos y 2.6% en peso de fibras cortas, no aprovechables para fabricación de empaques, mantos o cordelería². El solo aprovechamiento de este remanente en el campo de la construcción incrementaría el valor añadido del cultivo del 50% respecto al ingreso actual. Algunas fotos del cultivo y la producción de fique se muestran en la Ilustración 2.



Ilustración 2. Extracción de la fibra de fique. Valle – Colombia

1.2 Los aditivos en morteros y hormigones

Según el Comité ACI-212 (*American Concrete Institute*), un aditivo se define como un material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico, que se usa como ingrediente en hormigones y/o morteros y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado³.

Por su parte la Norma Española considera que un aditivo para hormigón es un producto incorporado en el momento del amasado del hormigón en una cantidad no mayor del 5% en masa, con relación al contenido del cemento en el hormigón, con objeto de modificar las propiedades de la mezcla en estado fresco y/o endurecido⁴.

1.2.1 Tipos de aditivos

Existen diferentes tipos de aditivos, los cuales se pueden clasificar, atendiendo a su efecto en el hormigón en masa o endurecido, a su solubilidad en agua o a la interacción físico – química que experimentan en el sistema del cemento portland hidratado). La clasificación, que por su efecto y/o función en el hormigón establece la Norma Europea 4, es la siguiente:

Aditivo reductor de agua/plastificante: Aditivo que, sin modificar la consistencia, permite reducir el contenido en agua, aumenta el asiento (cono)/escurrimiento, o que produce ambos efectos a la vez.

Aditivo reductor de agua de alta actividad/superplastificante: Aditivo que, sin modificar la consistencia, permite reducir el contenido en agua de un determinado hormigón, o que, sin modificar el contenido en agua, aumenta considerablemente el asiento (cono)/escurrimiento, o que produce ambos efectos a la vez.

Aditivo retenedor de agua: Aditivo que reduce la pérdida de agua, disminuyendo la exudación.

Aditivo inclusor de aire: Aditivo que permite incorporar durante el amasado una cantidad controlada de pequeñas burbujas de aire, uniformemente repartidas, que permanece después del endurecimiento.

Aditivo acelerador de fraguado: Aditivo que disminuye el tiempo del principio de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido.

Aditivo acelerador de endurecimiento: Aditivo que aumenta la velocidad de desarrollo de las resistencias iniciales del hormigón, con o sin modificación del tiempo de fraguado.

Aditivo retardador de fraguado: Aditivo que aumenta el tiempo del principio de transición de la mezcla para pasar del estado plástico al estado rígido.

Aditivo hidrófugo: Aditivo que reduce la absorción capilar del hormigón endurecido.

Aditivo retardador de fraguado/reductor de agua/plastificante: Aditivo que combina los efectos de un aditivo reductor de agua/plastificante (función principal) y los de un aditivo retardador de fraguado (función secundaria).

Aditivo retardador de fraguado/reductor de agua de alta actividad/superplastificante: Aditivo que combina los efectos de un aditivo reductor de agua de alta actividad/superplastificante (función principal) y los de un aditivo retardador de fraguado (función secundaria).

Aditivo acelerador de fraguado/reductor de agua/plastificante: Aditivo que combina los efectos de un aditivo reductor de agua/plastificante (función principal) y los de un aditivo acelerador de fraguado (función secundaria).

1.2.2 Efectos de los aditivos en los morteros y hormigones de cemento Portland.

Aditivos inclusores de aire: Su ingrediente activo es el alquilbenceno sulfonado o el óxido de polietileno; sin embargo, algunos materiales como sales de resinas de la madera, algunos detergentes sintéticos, sales de lignina sulfonada, sales de materiales protéicos, ácidos grasos y resinosos y sus sales, o sales orgánicas de hidrocarburos sulfonados, son también capaces de funcionar como aditivos inclusores de aire. El aire incluido mejora la consistencia del hormigón cuando se encuentra en estado plástico, reduce la segregación y la exudación del hormigón fresco.

Es ampliamente conocido el efecto dañino de los ciclos hielo-deshielo sobre el hormigón endurecido, debido a que el agua congelada se expande, causando presiones internas que pueden romper la masa. El propósito de la inclusión de aire es que los microporos generados actúen como alojamientos de agua, cuando ésta se ve forzada a desplazarse por el aumento del volumen al llegar al punto de congelación, reduciendo la presión. Igualmente el aire incluido protege el hormigón de las sustancias químicas usadas para deshelar y de la acción de los sulfatos; además provee al hormigón de una mayor resistencia al paso del agua, reduciendo su permeabilidad, ya que estas pequeñas burbujas actúan como válvulas de los capilares que deja el agua de exudación del hormigón, al pasar del estado plástico al estado endurecido.

La inclusión de aire, al mismo tiempo que mejora la consistencia y la durabilidad del hormigón, reducen su peso unitario y puede reducir la resistencia. Cuando el contenido de aire se mantiene constante, la ley de Abrams se cumple y la resistencia varía inversamente con la relación agua-cemento y la disminución de resistencia es proporcional a la cantidad de aire incluido. Si bien es cierto, que aunque la inclusión de aire permite reducir el agua de mezclado para una consistencia determinada, también aligera el hormigón, por lo que la relación agua-cemento debe ser menor, para mantener la misma resistencia que tendría sin aire incluido. La reducción de la resistencia por efecto del aire incluido (dentro

de límites permisibles), rara vez excede de un 15% en el caso de resistencia a la compresión y de un 10% en el caso de resistencia a la flexión. En general, la inclusión de aire varía entre 3% y 6% en hormigones de resistencia normal y entre el 3% a 4% para hormigones de alta resistencia ³.

Como requisitos específicos para los aditivos inclusores de aire (a igual consistencia) de la Norma Europea se considera que: el contenido en aire en hormigón fresco (aire ocluido) debe ser mayor de 2,5% en volumen por encima del correspondiente al hormigón testigo; que el contenido de aire total debe estar entre un 4% a 6% del volumen; tengan un factor de espaciado de los huecos de aire en el hormigón para ensayo sea menor de 0,200 mm; y que la resistencia a compresión a 28 días debe ser mayor o igual al 75% que la del hormigón testigo ⁴.

El contenido de cemento y el tamaño máximo del agregado grueso de una mezcla de hormigón tienen un efecto pronunciado en el contenido de aire, tanto naturalmente atrapado como intencionalmente ocluido. Para hormigones con un tamaño de agregado menor de 38.1 mm, el contenido de aire se incrementa sustancialmente. Por otra parte, cuando el contenido de cemento se incrementa, independientemente del tamaño del agregado, el contenido de aire decrece por el mayor contenido de pasta; sin embargo algunos estudios demuestran que el espaciamiento entre las burbujas es menor y que su superficie específica aumenta, con lo cual se mejora la durabilidad del hormigón.

Las partículas finas de agregado comprendidas entre los tamices de 595 μm (No. 30) y 149 μm (No. 100) tienden a incluir más aire que otras más finas o gruesas. Por otra parte, grandes cantidades de material que pasen el tamiz de 149 μm (No. 100) traen como consecuencia una reducción en el contenido de aire. Los agregados finos de distintas fuentes pueden incluir diferentes cantidades de aire en el hormigón aunque tengan granulometrías idénticas, así, por ejemplo, un hormigón con agregado fino triturado puede requerir hasta el doble de cantidad de aditivo, que el necesario para una arena redondeada natural. Igualmente las

impurezas orgánicas pueden aumentar o disminuir su contenido, dependiendo de la naturaleza que tengan. Finalmente un aumento en la dureza del agua reduce, generalmente, la efectividad de los aditivos inclusores de aire.

El uso de puzolanas u otros materiales finamente divididos en el hormigón, por lo general trae consigo una reducción en la cantidad de aire incluido. Por otro lado cuando se emplean aditivos reductores de agua o aditivos retardantes de fraguado, la eficiencia de los aditivos inclusores de agua se puede incrementar de un 50% a un 100% ³.

Aditivos reductores de agua. La composición química usual de estos aditivos es a base de ácido lignosulfónicos (lignosulfonatos) o sus modificaciones, sales de ácido carboxílicos hidroxilados o sus modificaciones, melaminas y polímeros hidroxilados.

Para el mismo asentamiento y contenido de aire, estos aditivos pueden reducir el requerimiento de agua de mezclado hasta un 10%, siempre y cuando no se obtengan efectos perjudiciales en otras propiedades del hormigón. La reducción mínima permisible por la Norma Europea ⁴ y ASTM C-494, para este tipo de aditivos está fijada en 5%. Si se mantiene constante el contenido de agua de la mezcla, estos aditivos aumentan el asentamiento del hormigón fresco.

El calor de hidratación y la temperatura del hormigón disminuyen, para el mismo contenido de cemento, al emplear un reductor de agua. Por otro lado al emplear estos aditivos se puede reducir la cantidad de cemento para mantener una misma relación agua-cemento, lo cual conduce a que el calor liberado por unidad de volumen y el aumento de la temperatura se reduzca. El empleo de estos aditivos también puede modificar ligeramente la velocidad de fraguado y de endurecimiento del hormigón.

Los lignosulfonatos producen cierta cantidad de aire ocluido que varía, según la marca y la dosificación, a diferencia de los aditivos a base de sales de ácido carboxílico hidroxilado. Éstas originan un aumento en la exudación del hormigón, a diferencia de los lignosulfonatos que comúnmente la reducen. El contenido de aire en el hormigón fresco, determinado como requisito en la Normas Europeas, debe ser menor del 2% en volumen por encima del correspondiente al del hormigón testigo ⁴.

En general, los aditivos reductores de agua producen en el hormigón un aumento de resistencia a todas las edades. Este es mayor de lo que podría esperarse debido a una reducción en la relación agua-cemento; es decir con la misma relación agua-cemento y contenido de cemento, el hormigón con aditivo es más resistente que sin él. La resistencia a la flexión se aumenta, menos que la de compresión. El mínimo de resistencia requerido por la Norma Europea es del 110% respecto al hormigón testigo ⁴.

En cuanto a la durabilidad, la mejora que se puede esperar es debida a la reducción de agua, reducción de permeabilidad y aumento de la resistencia, que también mejoran el módulo de elasticidad, la adherencia del hormigón al acero de refuerzo y reducen el flujo plástico.

Aditivos retardantes. Los aditivos retardantes son empleados principalmente para reducir el efecto acelerante del clima cálido sobre el fraguado del hormigón, o simplemente para retrasar el fraguado inicial cuando las condiciones de colocación y compactación son dispendiosas, como en el caso de elementos muy esbeltos o bombeos a grandes distancias. La composición química de estos aditivos es a base de ácidos hidrocarboxílicos, ligninas, boratos, azúcares o sales y ácidos tartáricos. Algunos de estos aditivos tienen también capacidades reductoras e inclusoras de aire.

Los mecanismos para retardar el fraguado son de dos tipos: disminuyendo la solubilidad de los componentes anhidros o precipitándose sobre los granos de cemento, con lo cual forman una cubierta impermeable, causando en ambos casos un retardo de fraguado.

En general, los aditivos retardantes, no afectan el requerimiento de agua, la consistencia o la velocidad de pérdida del asentamiento. Sin embargo permiten un mayor tiempo de utilización del hormigón en estado plástico.

En cuanto al calor de hidratación, lo que hacen estos aditivos, es retrasar el tiempo al cual ocurre el calor generado por la hidratación del cemento, pero no la reduce, ya que las que se retardan son las fases de hidratación C2S y C3S del cemento y no evitan completamente la reacción del C3A ³.

Según la Norma Europea para que un aditivo sea considerado retardante requiere que el principio de fraguado, en mezclas a igual consistencia, se retrase un tiempo mayor o igual a la muestra testigo más 90 minutos y que el final del fraguado para el mortero de ensayo sea menor o igual al mortero testigo más 360 minutos ⁴.

En cuanto a la resistencia, para hormigones de igual contenido en cemento y aire e igual asentamiento, generalmente presentan una resistencia a la compresión al menos igual, que del hormigón de referencia sin aditivos a edades de 18 a 48 horas. A los 28 días de edad, la resistencia a la compresión puede aumentar entre un 15% y un 25%. A edades posteriores, el porcentaje de aumento de resistencia es comúnmente menor. La Norma Europea considera que la resistencia a compresión a 7 días del hormigón para ensayo debe ser mayor o igual a un 80% que la del hormigón testigo y a los 28 días mayor o igual a un 90%

Aditivos acelerantes. Los aditivos acelerantes son empleados en clima frío, principalmente para agilizar las operaciones de acabado del hormigón, reducir el tiempo requerido para el curado y la protección, aumentar la velocidad de desarrollo de resistencia para retirar más temprano las formaletas o poner la estructura en servicio más rápidamente.

Aparte del cloruro de calcio, también hay otros productos químicos que puede acelerar la velocidad de fraguado del hormigón, como algunos cloruros solubles, carbonatos solubles, silicatos, fluosilicatos, hidróxidos alcalinos y algunos compuestos orgánicos como la trietanolamina.

En general, el requerimiento de agua y la consistencia de un hormigón no se ven afectados por el uso de un aditivo acelerante. Por lo común, disminuyen el requerimiento de aditivos inclusores de aire. El calor de hidratación desarrollado se obtiene más temprano, pero sin efecto apreciable en la cantidad total.

La reducción de los tiempos de fraguado inicial y final varía con la cantidad de acelerante utilizado, la cantidad de cemento, la temperatura del hormigón y la temperatura ambiente. La Norma Europea establece que el principio de fraguado para el mortero de ensayo debe ser mayor o igual a 30 minutos (a 20° C) y menor o igual al 60% del correspondiente al del mortero testigo (a 5° C) ⁴.

Se considera que el empleo de esos aditivos aumenta los cambios de volumen del hormigón. La resistencia a la compresión es mayor a edades tempranas, pero puede reducirse ligeramente a los 28 días de curado. El aumento en resistencia a la flexión, por lo común, es menor que el de resistencia a la compresión. La Norma Europa dice que a 28 días el hormigón para ensayo, con aditivo, debe tener una resistencia mayor o igual al 80% que la del hormigón testigo y a 90 días debe ser mayor o igual que la del hormigón para ensayo a 28 días.

En cuanto a la durabilidad del hormigón, se debe tener en cuenta que el cloruro cálcico empleado como acelerante no actúa como agente anticongelante. De otra parte, su uso disminuye la resistencia al ataque de sulfatos y aumenta la expansión, producida por la reacción árido-álcali, en caso de que ella se presente.

Su efecto más nocivo está en la corrosión que puede causar en los metales, por lo cual no debe ser empleado en los siguientes casos: hormigón curado con vapor, hormigón pre-esforzado, hormigón que contenga piezas de aluminio o elementos galvanizados.

Aditivos superplastificantes. Son sustancias químicas o combinaciones de sustancias químicas que cuando se adicionan a un hormigón normal, le proporcionan una consistencia fluida extrema o le proporcionan una gran reducción de agua, que sobrepasa los límites de aquella obtenida por medio de aditivos reductores de agua normales. Las aplicaciones más importantes de este tipo de aditivos son: la producción de hormigón fluido con relaciones agua-cemento normales de elevado asentamiento (18 cm o más), prácticamente autonivelante y libre de una excesiva segregación y exudación; y la producción de hormigón de alta resistencia, con relaciones agua-cemento más bajas de lo normal (menos de 0.4), una reducción de agua bastante alta (hasta un 25% o 30%) y manteniendo la consistencia deseada. Sin embargo, su efecto tiene una duración relativamente corta (30 o 60 minutos), después de lo cual ocurre una rápida pérdida de la consistencia fluida.

Los aditivos superplastificantes son polímeros orgánicos, ya sea de melamina sulfonados o condensado de formaldehído de naftaleno sulfonado; o lignosulfonatos modificados, los cuales, además no contienen cloruros adicionales, por lo que pueden utilizarse en todo tipo de hormigones sin peligro de corrosión para el acero de refuerzo ³.

Otros aditivos. Existe otro tipo de aditivos, menos convencionales, que se fabrican con fines específicos y que solamente los mencionaremos por no hacer parte del marco referencial de este trabajo. Ellos son: aditivos minerales, generadores de gas, aditivos para la adherencia, colorantes etc.

1.3 Investigaciones previas

Son verdaderamente escasas las investigaciones que sobre licores de plantas agaváceas como adiciones en hormigones y morteros se conocen. Al parecer los investigadores han preferido estudiar la fibra corta, subproducto del procesamiento industrial de la planta, para ser utilizada como refuerzo en hormigones.

En este contexto, el Doctor Silvio Delvasto, de la Universidad del Valle (Colombia), quién estudió en su tesis doctoral, la interfase entre el hormigón y la fibra de fique (familia de las *Agaváceas*, género *Furcraea*) ¹, también hizo algunas aproximaciones a la caracterización y uso, en hormigones fibro-reforzados, del licor de esta planta. Como conclusión general, manifiesta que el aditivo de fique se comporta como un agente inclusor de aire que, por ese hecho, se espera reduzca la resistencia a la compresión del hormigón, aunque la trabajabilidad, y la resistencia a agentes agresivos externos y a ciclos de congelamiento y deshielo se verían favorecidas. Deja propuesta una futura investigación sobre la introducción en su composición de un agente químico que actúe sobre sus propiedades tensoactivas como desespumante o aireante, para lograr un aditivo superplastificante que sea apropiado para la producción de hormigones fique reforzados.

Por su parte De Gutiérrez ⁵, investigando sobre el mismo licor, previamente concentrado, encuentra que además de incrementar la consistencia de pastas, morteros y hormigones, conservando la relación A/C y reducir el agua de

amasado por encima del 10%, conservando la consistencia, la adición de cantidades no mayores del 2% incrementa la resistencia a compresión hasta en 25% en pastas de cemento y un 50% en morteros. A diferencia de Delvasto concluye que el licor concentrado puede ser considerado un plastificante y reductor de agua.

Sobre este mismo tema han trabajado Chávez y Flórez ⁶ quienes buscan controlar el deterioro del licor de la planta de fique después de extraído, conocer el funcionamiento del licor de fique concentrado, determinar el efecto y la eficacia de algunos preservativos como el formol y el benzoato de sodio, y proponer un sistema industrial para la producción del aditivo de fique.

Algunos investigadores han utilizado licores de otras plantas suculentas para conocer sus efectos sobre las mezclas de cemento. Tal es el caso de Chandra et al. ²⁴, quienes emplearon el licor extraído del cactus *Nopal* originario de México. Las conclusiones más relevantes a que llegan son que incrementa la plasticidad del mortero y, sustancialmente, mejora la resistencia a la absorción en los morteros, no así en los hormigones. En otra de sus investigaciones concluye que los polímeros naturales inclusores de aire mejoran significativamente la resistencia de los hormigones al hielo-sal aún más que los aditivos químicos ⁷.

Por su parte Maria Antonia Climent investigando sobre el uso de extractos de plantas suculentas para la preparación de morteros y hormigones de cemento Portland ⁸ destaca en el licor de *Agave* su efecto como reductor de agua y retardador de fraguado en pastas de cemento; el incremento de la trabajabilidad, reducción de la porosidad y el mejoramiento de las resistencias mecánicas a flexotracción y compresión, cuando se utiliza cemento Portland II/A-L 32.5, pero no cuando se usa el cemento Portland I-52.5R excepto para los 28 días de curado a 20°C.

Como se aprecia en la diversidad de resultados y de tratamientos que se han investigado sobre el licor del *Agave* y sus especies similares, quedan muchos campos y variables por profundizar que indiquen su posibilidad de uso como aditivo en los compuestos de cemento Portland.

2 OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En Colombia, alrededor de un millón de personas en el campo subsisten directa o indirectamente del cultivo de la planta de fique y de la utilización de su fibra. La calidad de vida de estos campesinos se ha deteriorado por la baja productividad del cultivo, por la pobreza de los suelos, por las deficientes prácticas culturales en el cultivo, las formas de distribución y costos de transporte a centros de acopio, los costos de adecuación y de cosechar otros productos, la competencia de los materiales sucedáneos como el polipropileno, que ha desplazado en un 40% el mercado de la fibra de fique, los problemas fitopatológicos de las plantas, el reducido tamaño de los cultivos y las parcelas, el mercado limitado a la pocas utilidades.

Este trabajo busca caracterizar física y químicamente el licor extraído de algunas plantas de *Agave americana* y conocer el comportamiento mecánico de las pastas y morteros con adiciones de este producto. Es el preámbulo de una investigación que pretende contribuir a la disminución de la contaminación producida por la extracción y procesamiento de la fibra de la planta de fique en Colombia dando uso al licor (zumo residual del proceso de extracción) como aditivo para morteros y hormigones. Como consecuencia se lograría incrementar el valor económico agregado de la planta.

Las formas de extracción de la fibra de la planta de fique son aún muy rudimentarias y el 96% de la planta se convierte en un desecho altamente contaminante de las fuentes de agua.

El impacto que generaría el resultado de la investigación podría conducir a:

- ✍ Utilizar un recurso natural renovable como sucedáneo de aditivos sintéticos, cuya producción demanda mucha de energía y consumo de materias primas en algunos casos no renovables, con un alto impacto ambiental, y que incrementa en gran medida el precio del hormigón.

- Conferir valor agregado a la fibra de fique al desarrollar aplicaciones en morteros y hormigones.
- Posibilitar una mejora en los procesos constructivos con hormigón y en prefabricación de elementos constructivos, para los colectivos menos favorecidos que podrían aplicar productos más económicos y de origen autóctono.
- Contribuir al mejoramiento del estándar y condiciones de vida de las personas que cultivan el fique.

Para lograr estos objetivos, se debe:

- Caracterizar física y químicamente el licor del Agave a través de ensayos normalizados de aditivos en pastas, morteros y hormigones, como: contenido de extracto seco, pérdida por calcinación, residuo insoluble en agua desionizada, contenido total de halogenuros, contenido de reductores, determinación del peso específico, determinación del pH, termogravimetría, análisis infrarrojo y conductividad.
- Comparar estas propiedades con un aditivo superplastificante de marca comercial y con los requisitos que para el efecto establece la Norma Europea y la Española.
- Estudiar la influencia del licor de Agave en las pastas de cemento Pórtland y morteros frescos en propiedades tales como: consistencia normal, tiempos de fraguado, viscosidad, consistencia, aire ocluido, a igual relación agua/cemento y a igual trababilidad. Comparar los datos con mezclas donde se haya utilizado un aditivo superplastificante de marca comercial.
- Estudiar la influencia del licor de Agave en las propiedades mecánicas de los morteros endurecidos como: absorción capilar, resistencia a flexotracción y compresión a igual relación agua/cemento e igual consistencia y comparar los resultados de aquellos con la adición de un aditivo superplastificante comercial.

3 EXPERIMENTAL

3.1 Materiales

Para llevar a cabo este trabajo se utilizaron los siguientes materiales: cemento, árido silíceo, agua, licor de Agave y superplastificante Sikament FF. Las características de cada uno de ellos se presenta a continuación.

3.1.1 *Cemento*

Para la elaboración de pastas y morteros se utilizó un cemento Pórtland gris tipo CEM I - 52.5R, suministrado por la empresa CEMEX. La composición química del cemento se detalla en la Tabla 1:

Tabla 1. Composición química del cemento utilizado (%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P.F	R.I
CEM I 52.5R	19.90	5.38	3.62	63.69	2.14	3.66	1.17	0.10	2.02	0.95

3.1.2 *Árido*

En la fabricación de morteros se utilizó una mezcla de áridos de carácter silíceo suministrados por la empresa Caolines Lapiedra (Lliria- Valencia). La mezcla, compuesta por un 40% de arena AFA 60 y un 60% de AFA 45, tiene un módulo de finura de 3.34

3.1.3 *Agua*

El agua utilizada en la preparación de pastas y morteros es el agua potable suministrada a la red de la Universidad Politécnica de Valencia – España. El análisis químico es el indicado en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis Químico del Agua de Amasado

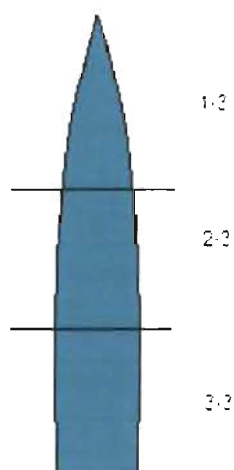
Cloruros	Ca y Mg	Sulfatos	Conductividad	pH
mg/l	Expresado en mg/l de CaCO ₃	mg/l	μS/cm	
93	480	298	939	7,88

3.1.4 Extracto de Agave

Las plantas de las cuales se obtuvo el licor, pertenecen a la especie *Agave americana*. En primer lugar, se consultó a través de comercializadores de pita y de sisal en el territorio español, posibles agricultores y/o productores de estas fibras de donde pudiésemos obtener el licor objeto de estudio. La búsqueda no fue exitosa pues en todos los casos la fibra es importada directamente de África o de América. Ante esta circunstancia se decidió utilizar el licor del *Agave americana* planta que tiene características botánicas similares a otras utilizadas en la producción de fibras. Las hojas se recogieron en los términos municipales de Paterna y de Beterá, en la provincia de Valencia – España. Cada muestra del licor está denominado por un primer número que reconoce el sector donde fue recogida y un segundo número, entre paréntesis, que designa la planta origen. Así pues, las muestras 2(1) y 2(2) fueron obtenidas en el mismo sector pero pertenecen a diferentes plantas; lo mismo sucede con las muestras 3(1) y 3(2).

Las hojas fueron empacadas en bolsas de polietileno y transportadas hasta el laboratorio de Ingeniería de la Construcción de la Universidad Politécnica de Valencia, donde en el transcurso de las siguientes 24 horas fueron procesadas. Después de limpiar las hojas con abundante agua se trocearon en tres partes, aproximadamente iguales en longitud, y cada una fue pesada y medida. La sección que pertenece a la punta se denomina 1/3; la sección media 2/3 y la base de la hoja 3/3. (Ilustración 3)

Ilustración 3. Secciones de la Hoja de Agave



Cada trozo de la hoja se licuó para obtener el licor correspondiente. Algunas secciones 3/3 fueron antes peladas, con el propósito de caracterizar el licor con y sin piel; de ahí la denominación *cp* o *sp*. La licuadora utilizada permite separar la fibra más larga y exprimir el licor. El líquido obtenido de cada sección se pesa, para conocer el rendimiento relativo al peso de la hoja, se envasa en pequeños botes con 25 grs., cada uno y se congela inmediatamente. Allí permanece, a una temperatura promedio de -14°C , hasta tanto vaya a ser utilizado.

Las características de dimensión y peso de las hojas seleccionadas son presentados en la Tabla 3. La longitud de la hoja, desde la base hasta la punta, es aproximadamente de 155 y 175 cm., considerando que aquellas que estén hacia la base son más cortas que las que están hacia la parte superior de la planta; el ancho se encuentra en el rango de 15 a 20 cm. El peso de cada hoja estuvo entre 2.965 y 4.090 gramos, y el promedio calculado a partir de las muestras estudiadas fue de 3.422 gramos por hoja. El mayor peso de la hoja está en su parte baja (3/3), donde se acumula la mayor cantidad de tejido carnoso y rico en agua. En promedio se considera que la base de la hoja represente el 61,42% de la misma, la parte central el 29,43% y la punta el 9,15 %.

La Tabla 4 muestra el peso del licor extraído de las hojas. En todas las secciones el peso del licor respecto a la sección de donde se extrajo, está entre un 45 y un 65%, siendo un poco menor el licor en la punta de la hoja; no se evidencian cambios sustanciales cuando la sección es sin piel o con piel. El mayor porcentaje respecto al peso total de la hoja, entre un 32% y 38%, de licor se obtiene de la base de la hoja (3/3) por concentrarse allí el tejido carnoso y el agua. Las secciones media (2/2) y la punta (1/3), aportan menos cantidad de licor al global de la hoja. Es pertinente aclarar que sólo se peló la sección de la base de la hoja (3/3) por la imposibilidad técnica que existía de hacerlo en las secciones media (2/3) y la punta (1/3).

3.1.5 Aditivo Superplastificante

Se escogió, para obtener datos comparativos, un aditivo superplastificante considerando que algunas investigaciones previas habían justificado características plastificantes al licor de la planta de *Agave*.

El producto seleccionado fue Sikament FF de la empresa SIKA cuyas características se detallan a continuación:

Tipo:	Melamina
Aspecto:	Líquido incoloro
Densidad	Aprox. 1,25 Kg/l
Contenido de sólidos:	Aprox. 40%
pH:	Aprox. 12

En el desarrollo del trabajo se denominará *SPs*

Tabla 3. Características de Dimensión y Peso de las Hojas de Agave













Planta	Imagen	Longitud de la hoja	Ancho de la hoja	Sección	Peso de la sección de la hoja	% respecto al peso total de la hoja
		cm	cm		g	%
1		154,00	20,00	3/3	2592,35	63,37
				2/3	1199,67	29,32
				1/3	298,90	7,4
				Total	4090,92	100
2 (1)		176,00	15,00	3/3	1774,19	59,83
				2/3	884,79	29,84
				1/3	306,51	10,33
				Total	2965,49	100
2(2)		162,00	18,00	3/3	2574,37	65,98
				2/3	1040,17	26,66
				1/3	287,13	7,36
				Total	3901,67	100
3(1)		172,00	15,00	3/3	1742,05	58,72
				2/3	904,60	30,49
				1/3	320,11	10,79
				Total	2966,76	100
3(2)		167,00	15,00	3/3	2146,21	62,93
				2/3	924,80	27,12
				1/3	339,30	9,95
				Total	3410,31	100
4		167,00	17,00	3/3	1845,07	57,67
				2/3	1060,76	33,15
				1/3	293,80	9,18
				Total	3199,63	100

Tabla 4. Peso del Licor Extraído

Planta	Imagen	Sección	Estado	Peso de la sección de la hoja	Peso del licor extraído	% del licor respecto a la sección de la hoja	% del licor respecto al peso total de la hoja
				g	g	%	%
1		3/3	Sp	2592,35	1345,49	65,71	32,89
		2/3	Cp	1199,67	683,51	56,97	16,70
		1/3	Cp	298,90	132,80	44,43	3,25
		Total		4090,92	2161,80		52,84
2 (1)		3/3	Sp	1774,19	977,77	55,11	32,97
		2/3	Cp	884,79	484,34	54,74	16,33
		1/3	Cp	306,51	137,35	44,81	4,63
		Total		2965,49	1599,46		53,93
2(2)		3/3	Cp	2574,37	1502,53	58,36	38,51
		2/3	Cp	1040,17	587,84	56,51	15,07
		1/3	Cp	287,13	142,45	49,61	3,65
		Total		3901,67	2232,82		57,23
3(1)		3/3	Sp	1742,05	949,12	46,56	31,99
		2/3	Cp	904,60	445,09	49,20	15,00
		1/3	Cp	320,11	182,89	57,13	6,16
		Total		2966,76	1577,10		53,15
3(2)		3/3	Cp	2146,21	1185,94	55,26	34,78
		2/3	Cp	924,80	513,21	55,49	15,05
		1/3	Cp	339,30	179,02	52,76	5,25
		Total		3410,31	1878,17		55,08
4		3/3	Sp	1845,07	1050,29	62,18	32,83
		2/3	Cp	1060,76	548,15	61,10	17,13
		1/3	Cp	293,80	133,60	45,47	4,18
		Total		3199,63	1732,04		54,14



3.2 Procedimientos experimentales y equipos

3.2.1 Ensayos de caracterización Físico – Química

La caracterización físico química de un aditivo tiene como objetivo identificar su composición, como medio para poder conocer y explicar los mecanismos de su actuación en el hormigón.

3.2.1.1 Extracto seco convencional⁹

Este ensayo tiene como objeto determinar el contenido de residuo seco (extracto seco convencional), a $(105 \pm 3) ^\circ\text{C}$, en los aditivos líquidos para hormigones, morteros y pastas.

Los aparatos utilizados son: cápsula de evaporación de fondo plano, desecador, estufa con ventilación forzada con regulador termostático a $105 \pm 3^\circ \text{C}$, balanza analítica . (Ilustración 4, Ilustración 5, Ilustración 6)

La cápsula de evaporación se calienta durante al menos una hora a $105 \pm 3^\circ \text{C}$. Se pesa después de enfriarla en un desecador. Se pesa una masa entre 5 y 10 g de aditivo líquido con una exactitud de 0,001 g. Se coloca la muestra en la estufa precalentada a $105 \pm 3^\circ \text{C}$ y se mantiene durante 4 horas después de lo cual se pasa a un desecador y se pesa hasta constancia de masa.

El resultado se expresa en tanto por ciento en masa y se calcula por medio de la expresión:

$$\text{Extracto seco } X = \frac{R}{M} \times 100$$

Donde

R es la masa del residuo, en gramos

M es la masa del aditivo, en gramos

X es el extracto seco en masa, en tanto por ciento



Ilustración 4. Cápsulas de evaporación, desecador y embudo de placa filtrante



Ilustración 5. Estufa con ventilación forzada con regulador termostático $105 \pm 3^{\circ} \text{C}$



Ilustración 6. Balanza analítica

3.2.1.2 Pérdida por calcinación a $1050 \pm 25^{\circ} \text{C}$ ¹⁰

Tiene por objeto determinar la pérdida de masa que experimentan los aditivos para hormigones, morteros y pastas cuando se someten a $1050 \pm 25^{\circ} \text{C}$, hasta constancia de masa. Se determina por pesada del residuo seco obtenido a $105 \pm$

3° C y del que queda cuando éste se somete a la acción del calor a $1050 \pm 25^\circ \text{C}$, hasta constancia de masa.

El equipo utilizado para este ensayo es: material corriente de laboratorio, horno de mufla (Ilustración 7), cápsula de platino o de porcelana (Ilustración 4).

La cápsula de porcelana que contiene el residuo seco del aditivo líquido (extracto seco convencional), se introduce durante una hora en el horno de mufla 1050°C . Transcurrido este tiempo, se saca la cápsula del horno; se pasa por un desecador donde se deja enfriar, durante 30 minutos, hasta la temperatura ambiente y, a continuación se pesa con una precisión no inferior a $\pm 0,001 \text{ g}$. Se vuelve a introducir la cápsula en el horno de mufla durante 15 minutos; se pasa al desecador, donde se deja enfriar durante 30 minutos y se pesa con la precisión anterior.

Los resultados se expresan en tanto por ciento en masa, con relación a la cantidad de aditivo ensayado, y se calculan por medio de la siguiente expresión:

$$\text{Pérdida por calcinación, \%} = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} \times 100$$

Donde:

M_1 es la masa de la cápsula, en gramos

M_2 es la masa de la cápsula con el residuo seco a 105°C

M_3 es la masa de la cápsula con el resto del aditivo, sometido a $1050 \pm 25^\circ \text{C}$

Ilustración 7. Horno de mufla



3.2.1.3 Residuo insoluble en agua desionizada ¹¹

El objeto de este ensayo es determinar el residuo insoluble en agua desionizada de los aditivos para hormigones, morteros y pastas.

La determinación del residuo insoluble en agua desionizada de un aditivo, se realiza por pesada del producto no soluble en un volumen dado de agua desionizada caliente (75° C aproximadamente), a partir de una cantidad conocida de dicho aditivo.

Para el ensayo se utiliza como único reactivo el agua desionizada y los equipos son: material corriente de laboratorio, embudo con placa filtrante de vidrio poroso (porosidad media), kitasato de 1000 ml, bomba de vacío, desecador. (Ilustración 4)

Se parte de unos 10 g de aditivo, que se pesan con una exactitud no menor de $\pm 0,005$ g. Se ponen en un vaso de 250 ml que contiene 150 ml de agua desionizada. A continuación se agita y se calienta hasta ebullición, manteniendo ésta durante 5 m. Se decanta y filtra en caliente a través del embudo con placa

filtrante, que se ha tarado previamente. Las aguas de filtrado y lavado se recogen en el kitasato y se pasan a un matraz aforado de 500 ml completando el volumen con agua; esta sustancia será la que se utilizará posteriormente para obtener el poder reductor del aditivo. El embudo que contiene el residuo insoluble, previamente lavado, se seca a $105 \pm 3^\circ \text{C}$ hasta masa constante, y a continuación se pone en un desecador donde se deja enfriar y se pesa con una exactitud no inferior a $\pm 0,005 \text{ g}$.

Los resultados del residuo insoluble en agua desionizada se expresan en tanto por ciento en masa, con relación a la cantidad de aditivo ensayado, y se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\text{Residuo insoluble en agua desionizada, en \%} = \frac{M_3 - M_2}{M_1} \times 100$$

Donde

M_1 es la masa del aditivo, en gramos

M_2 es la masa del embudo con placa filtrante, en gramos.

M_3 es la masa del embudo con placa filtrante más el residuo insoluble en agua desionizada, en gramos.

3.2.1.4 Contenido de reductores (azúcares) ¹²

Este ensayo permite conocer la presencia de azúcares en los aditivos, que podrían influir sobre la velocidad de fraguado o de endurecimiento de una pasta, de un mortero o de un hormigón. Se basa en la reacción que tiene lugar entre una disolución neutra de sustancias reductoras con el líquido de FEHLING, dando un precipitado de color rojo, de óxido de cobre (I).

Los reactivos utilizados son: ácido clorhídrico concentrado (HCl), disolución de ácido clorhídrico aproximadamente 2N, hidróxido de sodio (NaOH), disolución de hidróxido de sodio, aproximadamente 2N, disolución de FEHLING (sulfato de cobre – $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - y tartrato de sodio y potasio – $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ -).

Los equipos utilizados son: el usual de un laboratorio de análisis químico, balanza analítica, embudo de placa filtrante de porosidad media, equipo de filtrado al vacío.

A partir de la fracción de la muestra de aditivo soluble en agua desionizada, obtenida de acuerdo al procedimiento operatorio anterior, que se llevó a un volumen de 500 ml, se toma una parte alícuota ($1/n$); a continuación se adiciona ácido clorhídrico hasta alcanzar un pH igual a 1 y se calienta hasta ebullición; posteriormente se mantiene a $75 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 30 minutos.

La disolución, una vez fría, se neutraliza con hidróxido de sodio 2N; se añaden 50 ml de la disolución de FEHLING y unas bolas de vidrio; inmediatamente se calienta hasta ebullición, que se mantiene durante 2 minutos.

Se filtra la disolución caliente en un embudo de placa filtrante de porosidad media, previamente tarado. Por último se seca el embudo de placa filtrante y su contenido a $105 \pm 5^\circ \text{C}$, hasta constancia de masa.

El poder reductor se calcula por medio de la expresión:

$$\text{Poder reductor} = \frac{M_3 - M_2}{M_1} \times n$$

Donde

M_1 es la masa del aditivo utilizada para obtener la fracción soluble en agua desionizada.

M_2 es la masa del embudo con placa filtrante, en gramos.

M_3 es la masa del embudo con placa filtrante que contiene el precipitado.

n es la inversa de la fracción alícuota.

3.2.1.5 Contenido de Halogenuros totales ¹³



Este ensayo tiene como objeto determinar el contenido de halogenuros (cloruros, bromuros y ioduros) totales (solubles y no solubles en agua) en los aditivos para hormigones, morteros y pastas.

El contenido de halogenuros totales (solubles y no solubles en agua) en los aditivos se determina mercurimétricamente en la disolución de la muestra en medio nítrico, de la que previamente se han eliminado los posibles compuestos orgánicos por medio de una disgregación con la mezcla Eschka (carbonato de sodio o de potasio + óxido de magnesio, 1 + 2 en masa) con objeto de fijar los halogenuros.

El ion mercurio (II) reacciona con los iones de los halogenuros formando los compuestos correspondientes poco disociados en disolución acuosa. El punto de equivalencia se determina por medio del indicador coloreado difenil-carbazona, que reacciona con los iones mercurio (II), formando complejos intensamente coloreados, estables a pH controlado (3,2 a 3,3); para ajustar el pH 3,3, se utiliza azul de bromofenol, que adquiere un color amarillo-verdoso complementario del violeta del complejo difenil-carbazona-mercurio (II), el cual enmascara el ligero color que podría aparecer en las proximidades del punto de equivalencia.

A pesar de que el cloruro mercurio (II) está poco disociado en disoluciones diluídas, la pequeña concentración de iones mercurio (II), libres antes de alcanzar

el punto de equivalencia tiende a adelantar el punto final de reacción. En disoluciones concentradas tiene lugar la formación del ion complejo ClHg^+ , que tiende a retrasar la aparición del mencionado punto. Por todo ello, es indispensable realizar, en cada caso, un ensayo en blanco para determinar la cantidad necesaria de disolución, correspondiente al punto final de valoración.

Con la adición de ácido nítrico se eliminan la mayor parte de los iones sulfuro y sulfito, eventualmente presentes en los aditivos.

Los reactivos utilizados son: agua desionizada, mezcla Eschka (se mezclan íntimamente 2 partes en masa de óxido de magnesio ligero calcinado, con una parte en masa de carbonato de sodio o de potasio anhidro, que deben estar exentos de cloruros), ácido nítrico concentrado, disolución de ácido nítrico, aproximadamente 2N, disolución de hidróxido de sodio aproximadamente 2N, disolución de cloruro de sodio 0,1 N, disolución de difenil-carbazona, con una concentración de 5,0 g/l en etanol de 94° Gay – Lussac, disolución de nitrato de mercurio (II) 0,1 N.

Como muestras se toma el extracto de *Agave* seco y liofilizado con piel y el *SPs*. La muestra se prepara según el siguiente procedimiento:

- ☛ Se mezclan y homogenizan 2,5 g de la mezcla fundente (mezcla de Eschka) con $1 \pm 0,0001$ g del residuo seco del licor de *Agave* o del *SPs* y se pasan a un crisol de platino de forma alta, cuyo fondo está recubierto previamente con 0,5 g de la mezcla Eschka (Ilustración 8)
- ☛ Se nivela el contenido del crisol golpeándolo suavemente sobre la mesa y, a continuación, se recubre uniformemente el contenido con 1 g de Eschka
- ☛ El crisol y su contenido se calcinan en un horno mufla a $800 \pm 25^\circ \text{C}$ durante 1 hora y 30 minutos
- ☛ Se mezcla el contenido del crisol con 50 ml de agua desionizada

La disolución se neutraliza con ácido nítrico concentrado, se pasa a un matraz aforado y se enrasa con agua desionizada.

Para determinar el contenido de halogenuros en la muestra de aditivo, a la disolución que contiene la muestra disgregada, a la que se le han adicionado 3 gotas del indicador azul de bromofenol, se lleva a un pH próximo a 3 (el indicador vira a amarillo), bien con ácido nítrico 2N, bien con hidróxido de sodio 2N. A continuación se añaden 3 gotas de ácido nítrico 2N y 1 ml de la disolución difenilcarbazona. Por último se valora con la disolución de nitrato de mercurio (II) 0,01 N, hasta que se obtenga la coloración malva igual a la obtenida con la disolución testigo.

Una vez conseguida la igualdad de coloración, se reduce del volumen de la disolución de nitrato de mercurio (II) 0,01 N el utilizado en la disolución testigo. Este será el volumen realmente consumido en la valoración. Para determinar el contenido de halogenuros totales es indispensable realizar un ensayo en blanco.

El contenido de halogenuros totales en los aditivos, expresado como miligramos de ion cloruro, por gramo de aditivo, se calcula pro medio de la siguiente expresión:

$$\text{Cloruros (mg/g aditivo)} = \frac{V_i \times T}{m_i}$$

Donde

V_i es el volumen en ml de la disolución de nitrato de mercurio (II) = 0,01 N consumido en la valoración de halogenuros totales, corregido por los resultados del ensayo en blanco.

T es la concentración de la disolución de nitrato de mercurio (II) 0,01 N, expresado en mg de ion cloruro por mililitro de disolución

m_i es la masa del aditivo utilizada para determinar el contenido de halogenuros totales, expresada en gramos.

Ilustración 8. Crisoles de platino



3.2.1.6 Conductividad

Alternativamente a la evaluación del contenido de halogenuros se utilizó la medida de la conductividad eléctrica como indicador de los iones presentes en solución acuosa, para lo cual se ha utilizado un equipo que consta de los siguientes elementos (Ilustración 9):

- ☛ Un reactor con termostato de vidrio Pirex con doble pared, para la regulación de la temperatura del sistema, el cual se mantiene cerrado mediante una tapa para evitar la carbonatación. A dicha tapa se le pueden introducir los electrodos de medida de pH y conductividad eléctrica.
- ☛ PH-metro Crison micropH 2001 con salida RS232 dotado de un electrodo de pH resistente a medios alcalinos.
- ☛ Conductímetro Crison microCM2201 con salida RS232 provisto de un electrodo con una constante de celda de 1.07.
- ☛ Baño termostático Selecta Ultraterm para controlar la temperatura del sistema.
- ☛ Agitador magnético.
- ☛ Tarjeta de adquisición de datos.
- ☛ Ordenador personal.

- ☛ Software desarrollado para la adquisición y registro de datos.

El procedimiento experimental para la medición de la conductividad eléctrica es el siguiente:

- ☛ Introducir 50 mL de agua desionizada al vaso termostático.
- ☛ Ajustar los electrodos de pH (previamente calibrado) y conductividad al sistema, fijando la temperatura del experimento.
- ☛ Adicionar el extracto seco del licor de *Agave* o del *Sps*
- ☛ Manteniendo el sistema en continua agitación se hace la lectura después de un minuto aproximadamente.

Ilustración 9. Equipo para medir la conductividad



3.2.1.7 Peso Específico

La determinación del peso específico se hace sobre tres muestras distintas. Se adiciona a una probeta graduada de 100 ml, previamente tarada, un muestra de aditivo evitando la formación de burbujas de aire (espuma) y si es el caso se eliminan. A continuación se pesa la probeta con el contenido de aditivo.

Los resultados son la media aritmética de los tres resultados y se expresan en Kg/l, el valor se expresa con dos cifras decimales.

3.2.1.8 pH ¹⁴

Para la determinación del pH de los aditivos se utiliza un pH-metro (Ilustración 10) con una sensibilidad de 0,01 unidades de pH, agua desionizada y material corriente de laboratorio.

A partir del aditivo homogenizado, se toman tres muestras de 100 ml, y a continuación, se realiza a $20 \pm 2^\circ \text{C}$, sobre cada una, la medida del pH, una vez tarado según las especificaciones técnicas del fabricante.

Posteriormente se preparan tres muestras de 10 ml, cada una, del aditivo y se diluyen en 100 ml de agua desionizada, se homogenizan, se agitan y se realiza, en cada muestra, a $20 \pm 1^\circ \text{C}$, la determinación del pH.

Los resultados se expresan con una cifra decimal, a $20 \pm 1^\circ \text{C}$. Dichos resultados son la media aritmética de las tres medidas realizadas, si ninguno de los tres valores se diferencia en más de 0,2 unidades de dicha medida. En caso contrario, se indican los valores individuales.

Ilustración 10. pH-metro de sensibilidad 0,01 unidades de pH



3.2.1.9 Termogravimetría y análisis térmico diferencial

La definición generalmente aceptada de análisis térmico abarca al grupo de técnicas en las que se mide una propiedad física de una sustancia y/o productos de reacción en función de la temperatura, mientras la sustancia se somete a un programa de temperatura controlado. Se puede distinguir más de una docena de métodos térmicos, que difieren en las propiedades medidas y en los programas de temperatura. El método usado en este trabajo es la termogravimetría (TG), donde se registra continuamente la variación de masa de una muestra colocada en una atmósfera controlada, en función de la temperatura, o del tiempo, al ir aumentando la temperatura de la muestra. La representación de la masa o del porcentaje de masa en función del tiempo se denomina termograma o curva de descomposición térmica.^{15 16}

La curva DTG es la representación gráfica de la derivada de la curva TG, y nos proporciona información sobre la velocidad de pérdida o ganancia de masa con la temperatura o con el tiempo. Esta representación nos permite identificar con mayor facilidad las alteraciones de masa, especialmente cuando las pérdidas son muy pequeñas o bien cuando existen varios procesos con temperaturas de activación muy cercanas. Adicionalmente, la curva DTG nos permite por medio de la integración, evaluar saltos pequeños que resultan complejos de medir sobre la curva TG.

La curva DTA es aquella que presenta gráficamente la diferencia entre la temperatura de la muestra y la del entorno, con el tiempo o la temperatura, al ser calentada a una determinada atmósfera. El área encerrada entre la curva y la línea base está relacionada con el calor involucrado en el proceso. En los gráficos obtenidos en este trabajo, los eventos exotérmicos aparecen hacia arriba, mientras que los procesos endotérmicos se muestran hacia abajo.

El equipo del ATG que se ha empleado es un módulo TGA 850 Mettler- Toledo, que permite medir simultáneamente la curva termogravimétrica (TG) y la curva de análisis térmico-diferencial. (DTA), sin necesidad de usar material de referencia (single differential thermal analysis, SDTA)

El equipo cuenta con una electro balanza horizontal, un horno y sensores de temperatura que están en comunicación con un ordenador, donde se registran y se procesan los datos. La microbalanza tiene una resolución de 0.1 μg . En la mayoría de los casos se utilizan crisoles de alúmina, para poder trabajar hasta 1000° C de temperatura. (Ilustración 11)

El programa de temperaturas y las condiciones del ensayo por termogravimetría se explican más detalladamente en el apartado de resultados y discusión. (4.1.8)

Ilustración 11. Termobalanza TGA 850 Mettler- Toledo



3.2.1.10 Microscopía electrónica de barrido

Las muestras de los aditivos ensayados se tomaron del residuo seco (extracto seco convencional) y se pesaron en la balanza analítica, aproximadamente 2 mg.

Para el estudio de la morfología y composición del licor de *Agave*, se utilizó la microscopía electrónica de barrido (SEM). Las principales características del equipo utilizado son las que se describen a continuación: modelo utilizado JEOL JSM6300; Voltaje aplicado para la obtención de imágenes: 20KV; distancia de trabajo: 15mm.

Las imágenes se obtuvieron a partir de los electrones secundarios generados en las condiciones citadas anteriormente.

Previamente al estudio por microscopía, las muestras fueron recubiertas con carbono para facilitar la conductividad eléctrica de las mismas. El programa de adquisición de rayos X fue "X Ray analysis" y el programa para cuantificar fue "SEM Quant" que utiliza el método ZAF. Finalmente, la adquisición de imágenes se realizó mediante el programa "Autobeam".

Ilustración 12. Microscopio electrónico de barrido SEM



3.2.1.11 Espectrofotometría Infrarroja

El uso de la espectroscopia infrarroja para la determinación cualitativa y cuantitativa de grupos funcionales es cada vez más común en el campo de la química del cemento. En el presente trabajo se ha utilizado para caracterizar cualitativamente el licor de *Agave*.

La región del espectro de infrarrojo abarca entre $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$. La interacción de este tipo de radiación con la materia origina cambios de estados vibracionales y rotacionales de las moléculas. Los espectros de absorción de I.R., están constituidos por bandas estrechas características, debidas a la modificación de estados vibracionales de los átomos de la molécula problema.

El equipo de infrarrojo por transformada de Fourier utilizado es el modelo espectrómetro Mattson Genesis II F.T.I.R. Además el espectrómetro posee un software analítico que utiliza el programa WinFIRST- FTIR. (Ilustración 13)

El sistema dispersante que se utilizó para la fabricación de las pastillas a analizar por I.R. fue KBr, que constituye un blanco para la zona espectral de $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$. Las pastillas se realizan con el extracto seco obtenido en el ensayo correspondiente (ver 3.2.1.1), mezclando íntimamente trazas de la muestra problema con KBr puro y seco en una proporción aproximada del 1% en masa de la mezcla y comprimiendo la ésta mediante una prensa manual.

La característica principal de la espectroscopia infrarroja es que permite identificar especies químicas a través de la determinación de la posición (número de onda) a la que distintos grupos funcionales presentan bandas de absorción en el espectro IR ¹⁷.

Ilustración 13. Espectrómetro Mattson Generis II F.T.I.R



3.2.2 Ensayos en pastas de cemento

3.2.2.1 Consistencia normal y tiempos de fraguado

Para obtener la consistencia normal y tiempos de fraguado de los cementos, se utilizó la norma UNE-EN 196-3 ¹⁸. En esta norma se establece que el tiempo de fraguado se calcule observando la penetración de una aguja en una pasta de cemento de consistencia normal, hasta que alcanza un valor especificado. Dicha pasta de consistencia normal tiene una resistencia especificada a la penetración de una sonda normalizada. El agua requerida para la confección de la pasta se determina por medio de sucesivos ensayos de penetración en pastas con diferentes contenidos de agua.

En el ensayo se utiliza el aparato de Vicat (Ilustración 14), el cual se compone de los siguientes elementos:

- ☛ Sonda de metal no corrosivo, con forma de cilindro recto y longitud efectiva de 50 ± 1 mm y un diámetro de 10.00 ± 0.05 mm (Ilustración 16)
- ☛ Aguja de metal no corrosivo, de longitud efectiva de 50 ± 1 mm y un diámetro de 1.13 ± 0.05 mm (Ilustración 15)
- ☛ Aguja de metal no corrosivo con accesorio para determinar el final del fraguado. El diámetro de la aguja es de 1.13 ± 0.05 mm y el del accesorio es de 5.00 mm (Ilustración 17)
- ☛ Molde de caucho, de rigidez adecuada y de forma tronco cónica, de 40.0 ± 0.02 mm de altura con diámetros internos de 70 ± 5 mm y 80 ± 5 mm superior e inferior respectivamente.
- ☛ Placa base de vidrio plano de mayor dimensión que el molde y con espesor mínimo de 2.5 mm.

El procedimiento para la obtención de la consistencia normal es el siguiente:

- ☛ Pesar 500 ± 1 g de material cementante y una cantidad cualquiera de agua, por ejemplo 125g.
- ☛ Se añade el agua a la amasadora (que cumple con la norma UNE-EN 196-1¹⁹). A continuación se añade el cemento, entre los 5 a 10 s, anotándose el instante final de la adición como tiempo cero, e inmediatamente se pone en funcionamiento la amasadora a velocidad lenta durante 90 s. Se detiene la amasadora y se deja reposar 15 s (aprovechando para rascar el material impregnado en las paredes). A continuación se pone en funcionamiento la amasadora a velocidad lenta, durante otros 90 s.
- ☛ Se transfiere inmediatamente la pasta al molde y se llena hasta rebosar, sin compactar ni vibrar. Se elimina el exceso de material, mediante enrasado suave, de forma que se obtenga una superficie superior lisa.
- ☛ Se calibra al aparato de Vicat con la sonda antes del ensayo, bajando la sonda hasta la placa base de vidrio y ajustando la puesta a cero en la escala.
- ☛ Se coloca el molde debajo de la sonda, colocando ésta en contacto con la superficie de la pasta, manteniendo entre 1 o 2 s esta posición. A continuación, se libera la parte móvil del aparato, tal que la sonda penetre verticalmente en el centro de la pasta. El tiempo que ha de transcurrir desde que se inicia el amasado (tiempo cero) hasta que se libera la sonda será de 4 minutos. Se toma la lectura en la escala, cuando la penetración ha terminado o 30 s después de la liberación de la sonda. La lectura indica la distancia entre la placa base y la cara inferior de la sonda.
- ☛ Se repite el ensayo con diferentes cantidades de agua hasta obtener una lectura de 6 ± 1 mm, que es la pasta de consistencia normal.

El procedimiento para obtener los tiempos de fraguado inicial y final es el siguiente:

- ☛ Calibrar el aparato de Vicat.
- ☛ Llenar el molde con una pasta de consistencia normal.
- ☛ Introducir el molde lleno y la placa base en la cámara húmeda, en la que se mantienen las condiciones de temperatura y humedad constantes ($20 \pm 1^\circ\text{C}$ y 100% de humedad relativa).

- Después de un tiempo adecuado, se coloca el molde en el aparato de Vicat, se baja la aguja suavemente hasta que haga contacto con la superficie de la pasta, se suelta la aguja y se toma la lectura cuando la penetración ha terminado o cuando hayan transcurrido 30 s después de la liberación de la aguja, registrando el tiempo (el instante cero es el inicio del amasado).
- Se repite el ensayo a intervalos espaciados. El principio del fraguado será cuando la distancia entre la aguja y la placa base sea de 4 ± 1 mm, con una precisión de 5 minutos.
- Para determinar el final del fraguado, se invierte el molde lleno, al cual se le ha determinado el tiempo de fraguado inicial, sobre la placa base.
- Se inserta la aguja de Vicat para la determinación del final de fraguado y se realiza el ensayo de forma análoga a la determinación del inicio de fraguado.
- El final del fraguado se produce cuando la aguja por primera vez penetra sólo 0.5 mm en la pasta, que es cuando el accesorio anular de la aguja deja de hacer una marca en la pasta, registrándose el tiempo con una precisión de 15 minutos.

Ilustración 14. Aparato de Vicat



Ilustración 15. Aguja para determinar el tiempo inicial de fraguado en pastas y morteros de cemento



Ilustración 16. Sonda para determinar el agua de consistencia normal en pastas de cemento



Ilustración 17. Aguja para determinar el tiempo final de fraguado en pastas de cemento



3.2.2.2 Viscosidad

La viscosidad es una propiedad de los fluidos que refleja la resistencia, debida al rozamiento, que unas partes del fluido oponen al desplazamiento relativo de las otras. Cuando el fluido se encuentra en movimiento, con un gradiente de velocidad, sus partes más veloces rozan con las más lentas, resultando que las primeras se ven frenadas y las segundas aceleradas, como consecuencia de dicho roce.

La medición de las curvas de flujo en pastas de cemento que relacionan la viscosidad plástica y esfuerzo de corte con la velocidad de cizalla, se llevó a cabo con un viscosímetro rotacional Bohlin Visco 88 BV.

El equipo está conectado a un ordenador personal para la adquisición de datos, y que contiene el software Bohlin Windows V06.00.03 (The Corinium Centre, Dircencester, England), con el que se manipulan los datos (Ilustración 18). La mezcla de las pastas se realizó con un mezclador de laboratorio Hidolph Type RZR1, con una hélice con doble pala helicoidal a una velocidad de 280 rpm (Ilustración 19, Ilustración 20).

Las principales características del viscosímetro son:

- ☛ Rango de velocidad rotacional de 0 a 1000 rpm.
- ☛ Rango de velocidad de corte de 0 a 20000 s⁻¹.
- ☛ Rango de par de 0 a 10 mNm
- ☛ Rango de esfuerzo de cizalla de 0 a 10000 Pa
- ☛ Rango de viscosidad de 3.8 a 1x10⁷ mPa s.
- ☛ Rango de temperatura de -50 a 200° C.

La geometría utilizada ha sido la de cilindros concéntricos (DIN estándar). La ventaja de esta geometría es la que se puede aplicar a suspensiones, que junto con la gran superficie de medición, es ideal para aumentar la sensibilidad y por lo tanto, registrar buenos datos a bajas velocidades de cizalla. Dentro de esta geometría, utilizamos el cilindro (GAP) "C25 infinite sea", donde el 25 se refiere al diámetro del cilindro interior y el término "infinite sea", se refiere a que el diámetro del recipiente que contiene la muestra es lo suficientemente grande, como para no afectar la medición de la viscosidad.

Para la mezcla del ensayo, se utilizan 125 g de cemento para la pasta testigo, y esa misma cantidad de cemento con 1.1 % de aditivo para las muestras prueba.

Los valores de los parámetros de medición (rango de velocidad de cizalla, número de datos por ensayo, tiempos de integración, etc), así como el procedimiento operatorio se encuentran descrito en la sección de resultados y discusión.

Ilustración 18. Viscosímetro Bohlin Visco 88 BV



Ilustración 19. Mezclador de laboratorio Hidolph Type RZR1, con hélice con doble pala helicoidal



Ilustración 20. Detalle de la hélice



3.2.3 Ensayos en morteros de cemento Pórtland

3.2.3.1 Tiempo de fraguado ²⁰

El tiempo de fraguado en morteros se determina observando la penetración de una aguja en el mortero de referencia hasta que se alcance un valor especificado. El mortero de referencia con el aditivo (mortero de ensayo) debe tener la misma consistencia que el mortero referencia sin aditivo (mortero testigo) de acuerdo a lo especificado en la norma UNE-EN 480-1²¹.

En el ensayo se utiliza el aparato de Vicat (Ilustración 14), el cual se compone de los siguientes elementos:

- Aguja de metal no corrosivo, de longitud efectiva de 50 ± 1 mm y un diámetro de 1.13 ± 0.05 mm. La masa total de las partes móviles debe ser igual a 1000 ± 2 g (Ilustración 15)
- Molde de caucho, de rigidez adecuada y de forma tronco cónica, de 40.0 ± 0.02 mm de altura con diámetros internos de 70 ± 5 mm y 80 ± 5 mm superior e inferior respectivamente.
- Placa base de vidrio plano de mayor dimensión que el molde y con espesor mínimo de 2.5 mm.

La composición del mortero de referencia es la siguiente ¹⁹:

- 450 ± 2 g de cemento
- 1350 ± 5 g de arena. Dividido en 810 g de arena AFA 45 y 540 g de AFA 60
- 225 ± 1 g de agua

El procedimiento de amasado es el siguiente²¹:

- Mezclar la arena seca y el cemento durante 30 s en una amasadora como la descrita en la norma UNE-EN 196-119¹⁹, a velocidad lenta.
- Añadir toda el agua (más el aditivo en los morteros de ensayo) durante los 30 segundos siguientes, a velocidad lenta.
- Continuar el amasado a velocidad lenta durante 60 s.
- Detener la amasadora y, durante 30 s, recoger los productos no mezclados que se encuentran en el borde y en el fondo del recipiente de la amasadora con ayuda de una espátula.
- Volver a amasar y continuar así durante 60 s a velocidad rápida. La duración total del amasado es de 3 min y 30 s.

Para determinar el tiempo de principio de fraguado se lleva a cabo el siguiente procedimiento ²⁰:

- Se calibra el aparato de Vicat bajando la aguja hasta que esté en contacto con la placa base y ajustar la puesta en cero de referencia en la escala.
- Se transfiere el mortero al molde y se llena hasta rebosar, sin compactar ni vibrar. Se elimina el exceso de material mediante enrasado suave, de forma que se obtenga una superficie superior lisa.
- Introducir el molde lleno y la placa base en la cámara húmeda, en la que se mantienen las condiciones de temperatura y humedad constantes ($20 \pm 1^\circ \text{C}$ y 100% de humedad relativa).
- Después de un tiempo adecuado, se coloca el molde en el aparato de Vicat, se baja la aguja suavemente hasta que haga contacto con la superficie de la pasta, se suelta la aguja y se toma la lectura cuando la penetración ha terminado o cuando hayan transcurrido 30 s después de la liberación de la aguja, registrando el tiempo (el instante cero es el inicio del amasado).
- Se repite el ensayo a intervalos espaciados. El principio del fraguado será cuando la distancia entre la aguja y la placa base sea de 4,0 mm.
- Para determinar el final del fraguado, se invierte el molde lleno, al cual se le ha determinado el tiempo de fraguado inicial, sobre la placa base.
- Se inserta la aguja de Vicat para la determinación del final de fraguado y se realiza el ensayo de forma análoga a la determinación del inicio de fraguado.
- El final del fraguado se produce cuando la aguja no penetra más de 2,5 mm en la probeta.

3.2.3.2 Absorción Capilar ²²

El objetivo de este ensayo es determinar el efecto de los aditivos sobre la absorción capilar de los morteros. Consiste en medir la masa de agua absorbida por una probeta de mortero en unas condiciones especificadas en la norma.

Los equipos utilizados son: balanza con una exactitud de, aproximadamente, 0,1 g., recipiente de 200 mm de altura, bastante grande para contener doce

probetas prismáticas de base plana y con una tapadera; dispositivo que permita mantener un nivel de agua constante en el recipiente, prismas de mortero de 40 mm x 40 mm x 160 mm de acuerdo con Norma EN 196-1 (Ilustración 21); armario climatizado, regulado a $20 \pm 2^\circ \text{C}$ y $65 \pm$ de humedad relativa. En nuestro caso, y ante la imposibilidad de disponer de dicho armario, se optó por curar las probetas en cajas de plástico donde pudiésemos controlar la humedad relativa por medio de gel de sílice y/o disoluciones de glicerina (Ilustración 22).

Se preparan las siguientes probetas: 6 probetas de mortero testigo (para curar a 7 y a 90 días); seis probetas con licor de *Agave* y con *SPs* a igual relación A/C del mortero testigo (para curar a 7 y 90 días); seis probetas con licor de *Agave* y con *SPs* con igual consistencia al mortero testigo (para curar a 7 y 90 días), para un total de 30 probetas. Para evitar el sellamiento de los poros y los canales capilares los moldes no pueden llevar desencofrante.

Las probetas se pesan en el recipiente climatizado después de 7 días y después de 90 días, según el caso. Se colocan a continuación, verticalmente en el recipiente que contiene el agua a nivel constante; para ello se utilizan barras de vidrio cilíndrica pegadas sobre el fondo del recipiente con el fin de permitir que el agua acceda libremente a su base. El nivel del agua debe mantenerse a 3 ± 1 mm por encima de la base. Debe evitarse cualquier contacto entre las probetas. Se tapa inmediatamente el recipiente.

Las probetas conservadas durante 7 días en el recipiente de nivel de agua constante se deben ensayar después de 1 día y después de 7 días de contacto con el agua. Las probetas conservadas durante 90 días en el recipiente de nivel de agua constante se deben ensayar después de 1 día, después de 7 días y después de 28 días de contacto con el agua. En estos tiempos se retira cada probeta del recipiente, se limpian las caras ligeramente con papel secante o con un paño para eliminar el agua excedente, se pesa y se vuelve a colocar en el recipiente en posición vertical.

La absorción capilar para cada edad especificada es la media de los tres valores determinados en cada serie de 3 probetas de cada tipo de mortero (mortero testigo y mortero de ensayo), se expresan en g/mm^2 y se calculan por medio de la expresión:

$$C_A = \frac{M_j - M_o}{1600}$$

Donde

M_o es la masa de la probeta después de conservada durante 7 días ó 90 días, expresada en gramos.

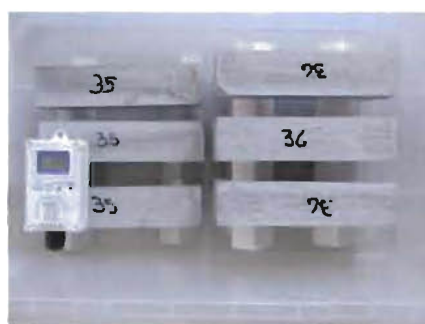
M_j es la masa de la misma probeta después del tiempo requerido de absorción, expresada en gramos.

1600 es la superficie de la probeta en contacto con el agua, expresada en mm^2

Ilustración 21. Recipiente para conservar las probetas en contacto con un nivel de agua constante en el ensayo de absorción capilar



Ilustración 22. Recipiente climatizado para curado de probetas en el ensayo de absorción capilar



3.2.3.3 Índice de consistencia

El índice de consistencia es el escurrimiento que tiene una masa de mortero específica, determinada por el volumen de un molde, después de aplicar quince golpes en una mesa de sacudidas, especialmente diseñada para ello.

La amasadora y el procedimiento de amasado que se utilizaron para los diferentes estudios de consistencia, cumplen con la norma UNE-EN 196-1¹⁹ y consta de (Ilustración 23):

- Un recipiente de acero inoxidable de una capacidad de 5L. Dicho recipiente está equipado de forma que pueda ser fijado firmemente al bastidor de la amasadora durante el amasado, pudiendo ajustarse con precisión la separación entre pala y recipiente.
- Una pala de acero inoxidable, accionada por un motor eléctrico de velocidades controladas. Los movimientos de rotación de dicha pala se realizan sobre su propio eje y el movimiento planetario alrededor del eje del recipiente.

El procedimiento de mezclado es el mismo que se sigue para el ensayo de tiempo de fraguado en morteros.

La medida de la consistencia se realizó en una mesa de sacudidas, cumpliendo los requisitos exigidos en la norma UNE 83-258-88²³. La mesa consta de (Ilustración 24):

- Un armazón colocado sobre una base rígida horizontal.
- La propia mesa construida de acero sostenida por dicho armazón.
- Una placa de vidrio de 7 mm de espesor y 350 mm de diámetro, sujeta al tablero.
- Una leva para levantar la mesa a la altura indicada por la norma, y dejarla caer por su propio peso.

El molde usado es de cobre, de forma de tronco-cónico, de 60 mm de altura, con diámetros interiores de 100 mm en la base y 70 mm en la parte superior. Cuenta con una tolva para facilitar la alimentación del material, la cual encaja en la parte superior. El pisón es un cilindro de madera de 40 mm de diámetro y 250 g de peso. Su función es la de compactar el mortero una vez introducido en el molde.

El proceso de las medidas de la consistencia fue el siguiente:

- Se coloca el molde con su tolva en el centro de la mesa.
- Se rellena el molde en dos fases adicionando en cada una de ellas el mortero necesario para cubrir la mitad del volumen del molde.
- Se apisona manualmente el contenido de cada fase con diez golpes de pisón, con una frecuencia de un golpe cada segundo.
- Se retira la tolva enrasando a la vez la superficie.
- Se retira el molde y se deja caer el tablero de la mesa por su propio peso sobre la leva quince veces, con una frecuencia de una vez cada segundo.
- Se miden dos diámetros perpendiculares de la masa extendida y el valor de la consistencia, en mm, se obtiene como la media de los cuatro valores obtenidos en dos ensayos de la misma amasada.

Ilustración 23. Amasadora para morteros



Ilustración 24. Mesa de sacudidas



3.2.3.4 Contenido de aire ocluido

Este procedimiento tiene como objeto determinar el aire ocluido en morteros de cementos, con y sin aditivos.

El equipo utilizado fue un aerómetro para morteros de cemento de 1 litro marca Bluhm & Feuerherdt GmbH modelo E 27. Consta de las siguientes partes (Ilustración 25):

- ☛ Calderín de capacidad 1 litro de volumen
- ☛ Tapa en la que se encuentra una cámara de aire.
- ☛ Bomba de inyección de aire
- ☛ Manómetro de precisión
- ☛ Válvulas de esfera que comunican el calderín con el exterior.
- ☛ Una válvula para igualar la presión de las dos cámaras.
- ☛ Una válvula para efectuar la descompresión.
- ☛ Junta de goma entre el calderín y la tapa

Los morteros testigo y de referencia se componen, en masa, de una parte de cemento (450 ± 2 g), tres partes de arena normalizada (1350 ± 5 g) y media parte de agua (225 ± 1 g). Relación A/C = 0.5. Las pesadas se ejecutan por medio de una balanza, con precisión de ± 1 g.

Para la preparación de la muestra primero se vierte el agua en el recipiente de la amasadora y se añade el cemento; se pone la amasadora en marcha a pequeña velocidad. Después de 30 s se introduce regularmente toda la arena en 30 s. Se pone la amasadora a su velocidad mayor y se continúa la mezcla durante 30 s más; se para la máquina durante 1 min. 30 s. Durante los 15 primeros segundos se separa por medio de una raqueta de caucho todo el mortero adherido a las paredes y al fondo. Dicho mortero se empuja hacia el centro del fondo. Se cubre el recipiente durante el tiempo restante (1 min. 15 s); se

reemprende a continuación el amasado a gran velocidad durante 60 s; la duración de los diversos periodos de amasado debe observarse con precisión de ± 1 s.

La preparación del mortero de referencia se hace como el mortero testigo, incorporando al agua de amasado, previamente a su introducción en la amasadora, el aditivo de ensayo.

La cantidad de agua será la misma en ambos casos, cuando se pretende conocer la influencia del aditivo para la relación A/C fijada de 0,5. Dicha agua se disminuye, en la cantidad precisa, en el caso de morteros con aditivos cuando se pretende conocer la influencia de éste para consistencia constante, con relación a la del mortero testigo (sin aditivo).

La muestra de mortero se introduce en el calderín en dos capas de aproximadamente igual espesor, procediéndose a un compactado adecuado. En nuestro caso se puso sobre la mesa de sacudidas y se le aplicaron 20 golpes a cada muestra. Se procede a realizar la inyección de aire de acuerdo a las especificaciones técnicas del equipo utilizado.

La media aritmética correspondiente a tres determinaciones, se considera como el resultado definitivo.

Ilustración 25. Aerómetro para morteros



3.2.3.5 Resistencias mecánicas en morteros

Para la determinación de resistencias mecánicas de morteros (flexotracción y compresión) se procedió a la fabricación de la probetas según la recomendación y procedimientos especificados en la norma UNE-EN 196-1 ¹⁹.

La amasadora y el procedimiento de amasado fueron los mismos que para el estudio de consistencia con la mesa de sacudidas (ver 3.2.3.1).

Los moldes utilizados son de acero, disponen de tres compartimentos horizontales para la preparación simultánea de tres probetas, con un espesor de pared de 10 mm. Las dimensiones del interior de cada compartimiento son de 40x40 mm de sección transversal y 160 mm de longitud (Ilustración 26).

Cada molde está provisto de una placa base, de acero mecanizado. El conjunto del molde ensamblado, permanece rígidamente unido y fijado a la base. La placa base asegura un contacto adecuado con la mesa de la compactadora y es lo suficientemente rígido para evitar las vibraciones secundarias. Al montar el molde limpio, listo para su uso, se aplica una capa fina de aceite de desmoldeado a las caras internas del molde.

Para facilitar el llenado del molde, se utiliza una tolva mecánica, bien ajustada, de paredes verticales de 30 mm., de altura. Las paredes exteriores de la tolva están provistas de medios de fijación que aseguran la correcta posición del molde.

La compactadora utilizada está compuesta de una mesa rectangular, unida rígidamente por dos brazos ligeros a un eje de rotación, que distan 800 mm del centro de la mesa. Dicha mesa está provista en el centro de su cara inferior de un martinete de superficie redondeada. Debajo del martinete existe un pequeño yunque, cuya cara superior es plana. Los brazos que unen la mesa al eje de rotación son rígidos y con forma redondeada, el martinete y el yunque son de acero (Ilustración 27).

Durante el funcionamiento, la mesa es levantada por una leva de acero, que le permite caer libremente desde una altura de 15 mm, entre el martinete y el yunque. El accionamiento de la leva se hace por medio de un motor eléctrico, a una velocidad uniforme de una revolución por segundo. Un dispositivo de control y un contador regulan el periodo de compactación a 60 golpes.

Para el curado de las probetas se ha utilizado una cámara húmeda en la que se mantienen las condiciones de temperatura y humedad constantes ($20 \pm 1^\circ\text{C}$ y 100% de humedad relativa), donde las probetas permanecen hasta la edad de rotura a flexotracción y compresión siguiendo las indicaciones de la norma UNE-EN 196-1¹⁹.

En la Ilustración 28 y la Ilustración 29 se muestran fotografías de las máquinas utilizadas para los ensayos de resistencia a flexotracción y compresión respectivamente.

Ilustración 26. Moldes para probetas de mortero



Ilustración 27. Compactadora de probetas de mortero



Ilustración 28. Prensa para ensayos de resistencia a flexotracción



Ilustración 29. Prensa para ensayos de resistencia a compresión



4 Resultados y Discusión

4.1 Estudio de la caracterización Físico – Química

4.1.1 *Determinación del extracto seco convencional*

El ensayo para determinar el extracto seco convencional nos permite, a partir de una muestra del aditivo que se seca en una estufa a $105 \pm 3^\circ \text{C}$ durante 4 horas, conocer el porcentaje de extracto seco y el contenido de agua de un aditivo líquido.

Para efectos de este ensayo se tomaron entre 5 y 10 g del licor de *Agave*, extraídos de cada una de las partes de las hojas, previamente procesadas y caracterizadas según lo descrito en el apartado 3.1.4. Esta cantidad, distinta de la recomendada en la norma UNE-EN 480-6 (2 g), permite tener una mejor lectura del peso del residuo sólido. Para el *SPs* se tomaron 2 g de aditivo tal como lo recomienda la norma⁹. En la Tabla 5 se resumen los valores obtenidos.

En primer lugar se observa que la mayor cantidad de residuo se obtiene de la sección de la punta hoja (1/3), aproximadamente un 12% del total de la muestra, resultado que nos indica un mayor volumen de piel y menor contenido de tejido carnoso y agua en esa sección. Esta cantidad disminuye en las otras dos secciones: la media (2/3) con 8% aproximadamente y la base (3/3) con un valor aproximado del 7%. Aunque no hay valores muy diferentes entre los extractos con piel y sin piel, se advierte un menor contenido de extracto seco en este último; así para las muestras de la base (3/3) sin piel, oscila su valor de extracto seco entre el 6,2 y 7,3 %, mientras que para las que presentan piel, para la misma sección de la hoja, se obtienen valores del 8,2 y 8,9%.

Los valores medios ponderados (valor relativo de extracto obtenido respecto al peso de la sección en la hoja), están entre el 7,0 y el 9,2%, obteniéndose un valor medio para las 6 hojas ponderadas del 8,0%. No se observan grandes diferencias

entre las distintas plantas, ni se ve afectada la determinación por la cantidad de muestra secada dentro del intervalo de los 5 y 10 g.

De los datos obtenidos podemos concluir que el mayor contenido de agua se encuentra en la base de la hoja (3/3) aproximadamente un 93%, y el mayor contenido de residuo sólido en la sección 1/3.

Para establecer el extracto seco convencional del *SPs* se hacen dos determinaciones que indican un contenido de residuo sólido de 41,3% valor que se corresponde con el dado por el productor (ver sección 3.1.5). Se evidencia un menor contenido de agua, en el *SPs* que en el licor de *Agave*.

El Gráfico 1, recoge los resultados de los extractos secos de las distintas hojas y muestra la tendencia antes descrita: mayores contenidos de agua en las secciones 2/3 y 3/3 y los menores hacia la sección de la punta de la hoja (1/3). Así las secciones 3/3 y 2/3 de la hoja presentan en promedio el 7,42% (92,58% de agua) y el 8,33% (91,67% de agua) de extracto seco mientras que la sección de la punta (1/3) el 11,57% (88,43% de agua).

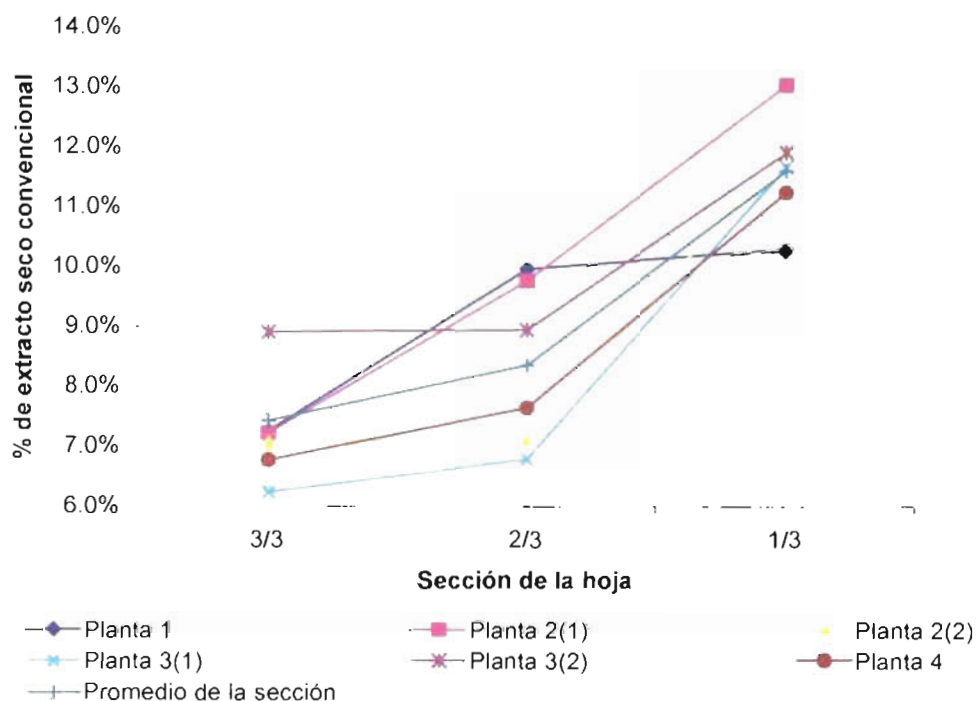
4.1.2 Determinación de la pérdida por calcinación a $1050 \pm 25^{\circ}\text{C}$.

El ensayo de determinación de la pérdida por calcinación nos permite conocer la pérdida de masa que experimentan los aditivos para hormigones, morteros y pastas cuando se someten a $1050 \pm 25^{\circ}\text{C}$, hasta constancia de masa. Se determina por pesada del residuo seco obtenido a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ y del que queda cuando éste se somete a la acción del calor a $1050 \pm 25^{\circ}\text{C}$, hasta constancia de masa. El procedimiento seguido es el de la UNE 83-207-85¹⁰

Tabla 5. Determinación del Extracto Seco Convencional en Agave

Muestra	Sección de la hoja	Estado	Masa inicial del aditivo	Masa del residuo	Porcentaje del extracto seco convencional	Extracto seco convencional Porcentaje Medio Ponderado
			g	g	%	%
1	3/3	Sp	10,041	0,728	7,3	8,3
	2/3	Cp	10,028	0,997	9,9	
	1/3	Cp	9,965	1,023	10,3	
2 (1)	3/3	Cp	10,043	0,725	8,2	8,6
	2/3	Cp	10,005	0,975	9,7	
	1/3	Cp	10,276	1,337	13,0	
2(2)	3/3	Sp	10,169	0,717	7,1	7,4
	2/3	Cp	10,269	0,731	7,1	
	1/3	Cp	10,009	1,195	11,9	
3(1)	3/3	Sp	5,540	0,346	6,2	7,0
	2/3	Cp	5,219	0,353	6,8	
	1/3	Cp	5,071	0,590	11,6	
3(2)	3/3	Cp	5,196	0,462	8,9	9,2
	2/3	Cp	5,329	0,475	8,9	
	1/3	Cp	5,472	0,650	11,4	
4	3/3	Sp	10,040	0,680	6,8	7,5
	2/3	Cp	10,062	0,767	7,6	
	1/3	Cp	10,257	1,150	11,2	
Media ponderada						8,0
SPs	1		2,059	0,856	41,6	41,3
	2		2,111	0,866	41,0	

Gráfico 1. Extracto Seco Convencional en Agave



A la vista de la Tabla 6 se observa que en los extractos de Agave la pérdida por calcinación es muy elevada, siendo menor en la punta de la hoja (1/3). Los resultados obtenidos determinan, en todos los casos, que la mayor masa de residuo calcinado, entre un 9 y un 12% del extracto seco aproximadamente, se obtiene de la sección 1/3, punta de la hoja, disminuyendo entre un 5 y un 9% en la sección media (2/3) y entre un 3 y un 5% hacia la base de la hoja, sección 3/3. Igualmente las secciones sin piel (sp) muestran, ligeramente, una menor cantidad de residuo calcinado que aquellas con piel. Se conserva la misma tendencia de los resultados obtenidos en el extracto seco.

El valor medio ponderado de residuo que queda después de la calcinación, respecto del extracto seco convencional de cada hoja, está entre 7 y un 10% aproximadamente. Se podría afirmar, por tanto, que existe una gran cantidad, entre un 90 y un 93%, de materia orgánica y carbonatos en los extractos secos.

Si relacionamos la media ponderada del extracto seco respecto del peso de la hoja con la media ponderada del residuo calcinado respecto del extracto seco observamos que un 0.7% aproximadamente del peso total de la hoja se recoge como ceniza.

En el *SPs*, se produce un residuo calcinado de 21,6 %, respecto del extracto seco, indicando un pérdida por calcinación de 79,4%, cantidad menor de la que se determinó en el extracto de *Agave*. En relación con el total de la muestra de aditivo la pérdida es de un 91.1%.

El Gráfico 2 muestra los resultados obtenidos de la calcinación de todas las muestras de extracto seco obtenidas de las hojas de *Agave*. Se observa la tendencia donde la mayor cantidad de residuo calcinado se logra en la sección 1/3 y las menores cantidades en las secciones 2/3 y 3/3 de la hoja. Así en la sección 1/3 obtenemos el 10,5 % y en las secciones 2/3 y 3/3 el 6,13 y 5,53 % respectivamente.

4.1.3 Determinación del contenido de halogenuros totales

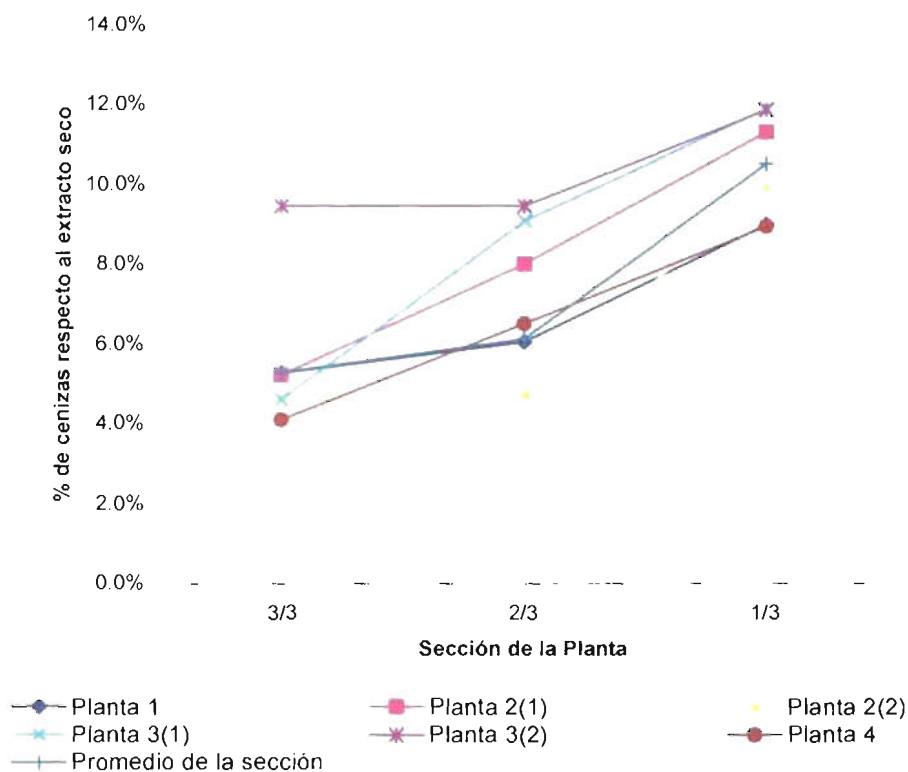
La determinación del contenido de halogenuros totales (solubles y no solubles en agua) en los aditivos se determina mercurimétricamente en la disolución de la muestra en medio nítrico, de la que previamente se han eliminado los posibles compuestos orgánicos por medio de una disgregación con la mezcla Eschka (carbonato de sodio o de potasio + óxido de magnesio, 1 + 2 en masa) con objeto de fijar los halogenuros. La determinación de las especies iónicas presentes en un aditivo proporciona una información muy importante acerca de la funcionalidad del polímero y de la presencia de electrolitos ²⁴.

Se prepararon, para este ensayo, muestras del extracto seco del licor de *Agave* con piel, extracto seco del licor de *Agave* liofilizado y extracto seco del *SPs*.

Tabla 6. Determinación de la pérdida por calcinación a $1050 \pm 25^\circ \text{C}$ del extracto seco convencional del *Agave* y del *SPs*

Muestra	Sección de la hoja	Estado	Masa del residuo seco a $105 \pm 3^\circ \text{C}$	Masa del residuo calcinado	% de residuo calcinado	Valor medio ponderado de residuo calcinado respecto del extracto seco	Pérdida por calcinación
			g	g	%		%
1	3/3	Sp	0,728	0,038	5,3	6,9	93,1
	2/3	Cp	0,997	0,060	6,1		
	1/3	Cp	1,023	0,092	9,0		
2 (1)	3/3	Cp	0,725	0,024	5,2	8,2	91,8
	2/3	Cp	0,975	0,078	8,0		
	1/3	Cp	1,337	0,151	11,3		
2(2)	3/3	Sp	0,717	0,033	4,6	7,1	92,9
	2/3	Cp	0,731	0,035	4,8		
	1/3	Cp	1,195	0,119	10,0		
3(1)	3/3	Sp	0,346	0,016	4,6	9,2	90,8
	2/3	Cp	0,353	0,032	9,1		
	1/3	Cp	0,590	0,070	11,9		
3(2)	3/3	Cp	0,462	0,044	9,4	10,4	89,6
	2/3	Cp	0,475	0,045	9,4		
	1/3	Cp	0,650	0,077	11,8		
4	3/3	Sp	0,680	0,028	4,1	7,0	93,0
	2/3	Cp	0,767	0,050	6,5		
	1/3	Cp	1,150	0,103	9,0		
Media del valor ponderado						8,2	
SPs	1*		0,856	0,184	21,5	21,6	78,4
	2		0,866	0,189	21,8		

Gráfico 2. Residuo de extracto seco de *Agave* después de calcinado



Como se observa en la Tabla 7 el contenido de halogenuros totales en los extractos de *Agave*, obtenidos con diferentes muestras (secas y liofilizadas), tienen prácticamente el mismo contenido de halogenuros. El SPs, aunque presenta una mayor cantidad de halogenuros que el licor de *Agave* se puede considerar que contiene un valor bajo.

En cualquiera de los casos, licor de *Agave* o SPs, los contenidos de halogenuros totales, expresado en mg/g de cloruros, son inferiores al 0,1% en masa, haciéndolos utilizables en hormigones según los requisitos definidos por la norma UNE-EN 934-2.

Tabla 7. Determinación del Contenido de Halogenuros Totales

Muestra	No. Ensayo	Hg(NO ₃) ₂			Aditivo	Cloruros Totales
		Volumen	Promedio	Blanco		
		ml	ml	ml		
Agave liofilizado con piel	1	1,9	1,8	1,7	1,0020	0,0353
	2	1,8				
Agave seco con piel	1	1,8	1,7	1,6	1,0009	0,0354
	2	1,6				
SPs	1	2,0	1,9	1,7	1,0085	0,0702
	2	2,1				

4.1.4 Conductividad

Alternativamente a la evaluación del contenido de halogenuros se utilizó la medida de la conductividad eléctrica como indicador de los iones presentes en solución acuosa.

El método general utilizado para medir la conductividad eléctrica y el pH de una disolución consiste en el uso de dos electrodos de medida de pH y conductividad. La muestra de en 1 gramo, aproximadamente, del extracto seco o liofilizado del aditivo, se diluye en 50 ml de agua desionizada. La medida se hizo al cabo de un minuto aproximadamente.

Los resultados se muestran en la Tabla 8. En primer lugar se observa determinan que las muestras de Agave son ácidas mientras que la muestra del SPs es básica. Entre las dos muestras de Agave no se evidencia una diferencia de acidez importante, aunque la presencia de la piel hace disminuir el pH ligeramente respecto de la muestra sin piel.

La conductividad es mayor en la muestra del aditivo *SPs* que en el *Agave*. No existe una diferencia significativa entre la conductividad de la muestra del *Agave* seco y el liofilizado. Los valores de conductividad de la muestra de *agave* son mismo orden de magnitud que los obtenidos para el agua potable de la red, de lo se deduce que la contribución iónica es baja.

Tabla 8. Determinación de la Conductividad en Extracto Seco de *Agave* y en un *SPs*

Muestra	Conductividad	pH
	$\mu\text{S/cm}$	
<i>Agave</i> Liofilizado sin piel	1201	5,15
<i>Agave</i> seco con piel	1807	4,78
<i>SPs</i>	2920	8,95
Agua desionizada	58,3	6,93
Agua potable de la red	939	7,97

4.1.5 Determinación del contenido de reductores (azúcares)

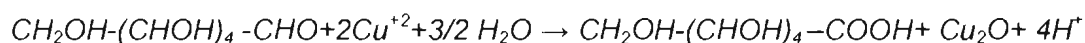
Este ensayo permite conocer la presencia de azúcares en los aditivos, que podrían influir sobre la velocidad de fraguado o de endurecimiento de una pasta, de un mortero o de un hormigón. Se basa en la reacción que tiene lugar entre una disolución neutra de sustancias reductoras con el líquido de FEHLING, dando un precipitado de color rojo, de óxido de cobre (I)

Para realizar este ensayo se tomaron 10 g, aproximadamente, de licor de *Agave* extraídos de la planta 2(1) y la sección 1/3 con piel de la hoja. Para la preparación de la muestra se filtró, previamente, el residuo insoluble en agua destilada, de

acuerdo al procedimiento descrito en la sección 3.2.1.3. La determinación del poder reductor se determinó de acuerdo al procedimiento descrito en la sección 3.2.1.4.

El valor del poder reductor para el licor de *Agave* es de 0.087. Este valor no pudo ser contrastado con ningún otro dada la escasa información bibliográfica que existe sobre el tema y a que la Norma Europea tampoco define ningún parámetro ni requisito al respecto.

Adicionalmente se determinó el contenido de azúcar en la misma muestra, expresado como mg de glucosa por gramo de aditivo, a partir de la reacción:



El resultado obtenido fue de 110 mg de glucosa por gramo de aditivo.

Como dato comparativo hacemos referencia a la investigación realizada por Cabrera y Nwaubani quienes manifiestan que la selección y/o aceptación de fibras para el uso en compuestos de cemento tiene que estar inevitablemente basado en los valores límites de los compuestos orgánicos solubles en agua y que retardan la hidratación del cemento. Se conoce que el contenido de lignina es benéfico para la adherencia mientras que la celulosa y más aun la hemicelulosa (la cual es bastante álcali-soluble), afecta fuertemente las resistencias. Las medidas de solubilidad no están claramente definidas en algunos casos, pero el principio general es que los compuestos solubles están directamente relacionados con el contenido de azúcar de la fibra y es por eso que debería ser limitado. Un ejemplo de valores límites está dado en la Tabla 9²⁵:

Para nuestro caso y teniendo en cuenta que para la preparación de los morteros de referencia se utilizan 450 g de cemento, el porcentaje de glucosa es de 0,24%.

Aunque el valor está prácticamente en el límite, es pertinente aclarar, que podría ser mayor pues en el momento de realizar el ensayo se observó que la filtración no fue completa pues se halló un pequeño sedimento con partículas de óxido de cobre en el residuo líquido.

Tabla 9. Valores límite de glucosa y almidón, por peso de cemento, utilizado en mezclas

Compuesto	Porcentaje sobre peso del cemento	Efecto
	%	
Glucosa	$\geq 0,25$	retarda la hidratación
Almidón	$\geq 0,125$	retarda la hidratación

Se concluye entonces que el poder reductor del licor de *Agave* se encuentra en su contenido de azúcares, que superan los límites que para el efecto se mencionan como retardantes de la hidratación de la mezcla.

4.1.6 Determinación del Peso Específico

El peso específico del licor de *Agave* se obtuvo mediante el peso de 100 cm³ del licor de *Agave* de tres muestras de igual cantidad de hojas, en una probeta previamente tarada. El valor medio obtenido fue de 1,06 g/cm³ (Tabla 10).

El peso específico del *Agave* nos indica la menor densidad de este producto respecto del *SPs* comercial utilizado que es de 1,25 g/cm³, lo que está de acuerdo con el mayor contenido de sólidos del aditivo comercial.

Tabla 10. Determinación del peso específico

Muestra	Sección de la hoja	Estado	Peso de 100 cm ³
			g
2 (1)	2/3	Cp	104,98
2(2)	1/3	Cp	107.23
3(1)	2/3	Cp	105.11
Peso medio			105.77

4.1.7 Determinación del pH

El pH se determina a partir del aditivo homogenizado en estado líquido. Se toman muestras de 100 ml del licor extraído de cada sección y cada hoja de Agave; del aditivo comercial se toma la misma cantidad directamente del envase. A continuación se realiza, a $20 \pm 2^\circ \text{C}$, sobre cada una, la medida con el pH-metro previamente calibrado según las especificaciones técnicas del fabricante.

Posteriormente, se preparan muestras de 10 ml, cada una, del licor y del aditivo aditivo, y se diluyen en 100 ml de agua desionizada, se homogenizan, se agitan y se realiza, en cada muestra, a $20 \pm 1^\circ \text{C}$, la determinación del pH.

Los resultados, expuestos en la Tabla 11, nos indican que las muestras del licor de Agave son ácidas con pH entre 4 y 5. Las muestras puras son siempre más ácidas que las muestras disueltas debido al efecto dilución. Las muestras con piel son, en general, ligeramente más ácidas que las sin piel mientras que la sección de la punta (1/3) es más ácida que la de la base (3/3) lo que nos indicaría que la acidez de la hoja la aporta en mayor medida la piel.

El aditivo SPs, presenta un pH de 12,09 puro y 12,44 diluido, lo que confirma la especificación técnica del fabricante.

La acidez del licor de *Agave* nos manifiesta la vulnerabilidad que tiene a la rápida fermentación y por lo tanto a su conservación. Igualmente el riesgo que puede presentar en la corrosión de la armaduras.

Tabla 11. Determinación de pH en el licor de *Agave* y *SPs*

Muestra	Sección de la hoja	Estado	pH en muestra pura	pH en muestra pura Promedio	pH en muestra diluida	pH en muestra diluida Promedio
1	3/3	Sp	5,05	4,37	5,28	4,72
	2/3	Cp	4,37		4,72	
	1/3	Cp	4,36		4,72	
2 (1)	3/3	Sp	4,63	4,26	4,89	4,57
	2/3	Cp	4,33		4,64	
	1/3	Cp	4,18		4,50	
2(2)	3/3	Cp	4,60	4,17	4,92	4,48
	2/3	Cp	4,19		4,50	
	1/3	Cp	4,15		4,46	
3(1)	3/3	Sp	4,98	4,51	5,32	4,83
	2/3	Cp	4,58		4,92	
	1/3	Cp	4,43		4,73	
3(2)	3/3	Cp	4,79	4,25	5,08	4,54
	2/3	Cp	4,36		4,65	
	1/3	Cp	4,14		4,43	
4	3/3	Sp	4,26	4,21	4,62	4,55
	2/3	Cp	4,26		4,62	
	1/3	Cp	4,15		4,48	
SPs	1		12,11	12,09	12,45	12,44
	2		12,08		12,48	
	3		12,08		12,40	

El Gráfico 3 y el Gráfico 4 muestran comparativamente los valores de los pH en el licor de *Agave* reiterando la mayor acidez en las secciones de la punta (1/3) y la menores hacia las secciones de la base.

Gráfico 3. pH en licor de Agave puro

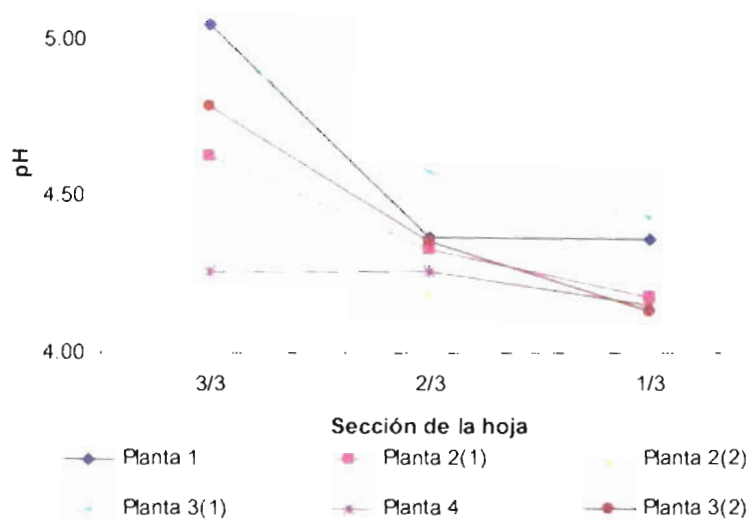
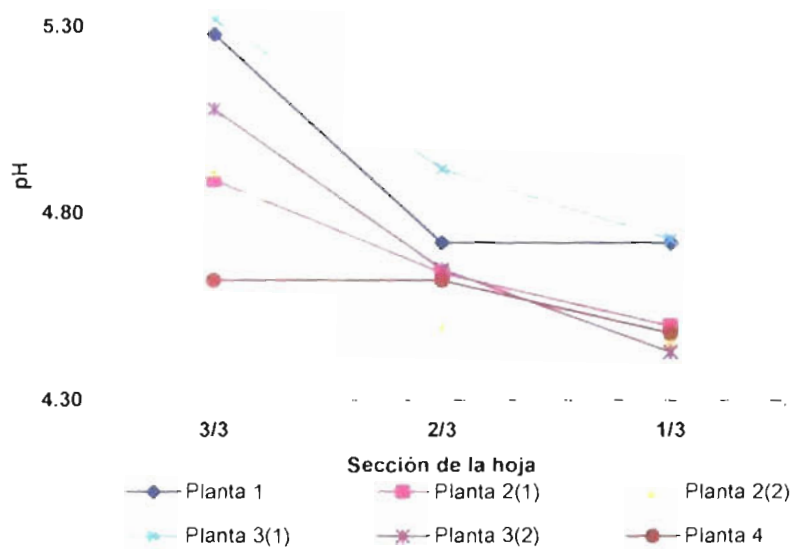


Gráfico 4. pH en licor a Agave disuelto en agua desionizada



4.1.8 *Análisis Termogravimétrico y Análisis Térmico Diferencial.*

Para la caracterización del licor del *Agave* se tomaron tres muestras: dos de extracto seco convencional, con piel y sin piel, correspondientes a las secciones 2/3 y 3/3 de la planta 3(2) respectivamente y otra de extracto seco liofilizado con piel correspondiente a la sección 2/3 de la misma planta. Posteriormente se pusieron cantidades no mayores de 3,5 mg en crisol de alúmina, se sometió a calentamiento entre 35 y 1000° C con una velocidad de calentamiento de 20° C/min, bajo una atmósfera oxidante de aire seco con el propósito de facilitar la oxidación total de la materia orgánica presente. Dichas muestras fueron sometidas a termogravimetría y análisis térmico-diferencial.

La curva TG muestra las pérdidas de peso que se producen con el calentamiento de la muestra, debido a que durante dicho calentamiento se producen reacciones de deshidratación, oxidación o descomposición en las que se forman compuestos gaseosos.

La curva derivada, DTG, es una medida de la velocidad de dichos procesos químicos, en donde los mínimos de la curva corresponden a la temperatura donde la velocidad de la reacción química producida es máxima.

Por último la curva DTA mide la variación entre la temperatura de la muestra y de la del entorno y representa dicha variación con el aumento de temperatura del horno. Dicha curva guarda relación con los procesos exotérmicos y endotérmicos que se producen en dichas reacciones químicas, considerando procesos exotérmicos cuando la curva presenta máximos y procesos endotérmicos cuando la curva describe un mínimo.

En el Gráfico 5, Gráfico 6 y Gráfico 7 se muestran las curvas TG, DTG, y DTA respectivamente del extracto seco convencional y liofilizado del *Agave* con piel y sin piel, y la muestra liofilizada.

Gráfico 5. Análisis Termogravimétrico (curvas TG) para licor de Agave seco con piel, sin piel y liofilizado con piel

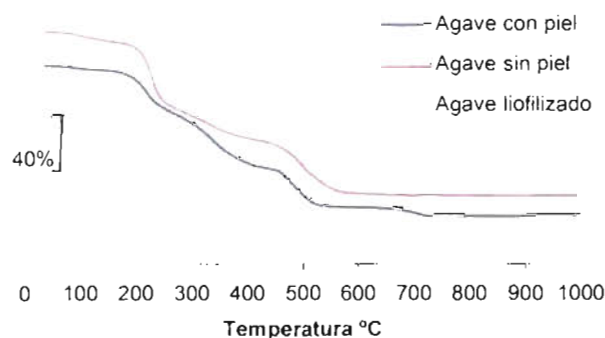


Gráfico 6. Análisis Termogravimétrico (curvas DTG) para licor de Agave seco con piel, sin piel y liofilizado con piel

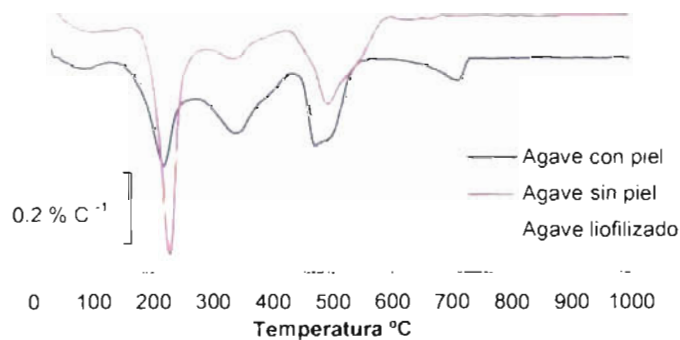
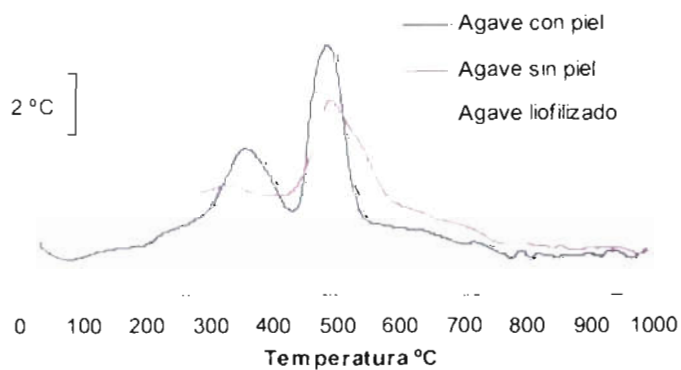


Gráfico 7. Análisis Térmico Diferencial (curvas SDTA) para licor de Agave seco con piel, sin piel y liofilizado con piel



En la curva TG se observa una pérdida continua de masa durante todo el intervalo estudiado donde se destacan pérdidas específicas con la ayuda de las curvas DTG y DTA, las siguientes pérdidas de peso, que se identificaron en las muestras de *Agave* seco con piel y sin piel y *Agave* liofilizado con piel:

- Pérdida entre 35° C y 140° C, debido al agua débilmente combinada.
- Pérdida entre 140° C y 280° C, con un proceso endotérmico, probablemente debido a la deshidratación-descomposición de los compuestos presentes en el extracto.
- Pérdida entre 280° C y 440° C. La curva DTA muestra que se trata de un proceso exotérmico, que indica que se está produciendo la oxidación de la materia más fácilmente oxidable a la vez que la volatilización y descomposición térmica de la materia orgánica.
- Pérdida entre 440° C y 600° C, proceso fuertemente exotérmico, debido a la oxidación del resto de la materia orgánica presente que se oxida a mayor temperatura.

Pérdida entre 600° C y 760° C, que se encuentra en la zona del proceso de descarbonatación según la reacción: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Los datos de pérdida de peso de cada intervalo, así como las temperaturas de los picos de la curva DTG y los resultados que se pueden deducir de estos, se encuentran en la Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14.

Tabla 12. Resultados del Análisis Termogravimétrico y Térmico Diferencial del extracto seco de *Agave* con piel

Intervalos de temperatura °C	Pérdida de peso %	Temperatura Picos °C
0 – 140	2.61	92
140 – 280	27.53	220
280 – 440	31.73	340
440 – 600	22.93	475
600 – 760	5.19	713
Pérdida Total	93.48	

Tabla 13. Resultados del Análisis Termogravimétrico y Térmico Diferencial del extracto liofilizado de *Agave* con piel

Intervalos de temperatura °C	Pérdida de peso %	Temperatura Picos °C
0-140	4.57	98
140-280	29.40	222
280-440	32.23	337
440-600	20.41	498
600-760	8.75	708
Pérdida Total	91.26	

Tabla 14. Resultados del Análisis Termogravimétrico y Térmico Diferencial del extracto seco de *Agave* sin piel

Intervalos de temperatura °C	Pérdida de peso %	Temperatura Picos °C
0-140	4.97	105
140-80	42.06	230
280-440	18.99	342
440-600	31.20	495
600-760	1.21	700
Pérdida Total	98.43	

Los resultados de pérdida total de masa en la termogravimetría, coinciden prácticamente con los del ensayo por calcinación (ver Tabla 6). Mientras que las pérdidas de peso en el extracto seco con piel y el liofilizado son prácticamente coincidentes existen diferencias con el extracto seco sin piel. Parece que en dicha muestra el proceso de deshidratación-descomposición, es más importante, mientras que la cantidad de materia orgánica fácilmente oxidables es menor. Por otra parte la materia orgánica que se oxida a mayor temperatura es más importante que en las otras dos muestras (31,20%).

Cabe destacar, además la poca cantidad de carbonatos presentes en la muestra sin piel respecto a las otras dos muestras, ya que la pérdida de masa, que se producen en el intervalo 600 – 760 °C, corresponden a un porcentaje de carbonatos de 11,80% pero la muestra de extracto seco con piel, 19,9% para el extracto liofilizado, y sólo del 2,75% para la muestra seca sin piel (resultado expresados como %CaCO₂).

4.1.9 Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

Para la caracterización del licor de *Agave* mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido, se analizaron muestras del licor: liofilizado con piel y sin piel, extracto seco con piel obtenido del ensayo correspondiente (ver 4.1.1), y el residuo calcinado con piel y sin piel producto del ensayo de calcinación (ver 4.1.2).

De los espectros correspondientes a las fotografías seleccionadas se observó que:

En los residuos calcinados con piel y sin piel, se observa una mayor cantidad de calcio relativa al carbono. Esto se atribuye a que del residuo calcinado se ha perdido la materia orgánica presente en el licor (ver 4.1.8). Además se observan pequeños contenidos de magnesio y fósforo (Ilustración 30, Ilustración 31)

El residuo del licor liofilizado con piel está compuesto básicamente por carbono, contenido en la materia vegetal, con una pequeña cantidad de calcio y potasio relativa a la cantidad de carbono (Ilustración 32); en la muestra del extracto liofilizado sin piel no aparece el pico correspondiente al potasio (Ilustración 33).

El extracto seco con piel muestra los mismos componentes del liofilizado, carbono en su gran mayoría con pequeñas cantidades relativas de calcio y potasio (Ilustración 34)

Ilustración 30. Fotografía microscópica y espectro del residuo calcinado del licor de la hoja de agave con piel

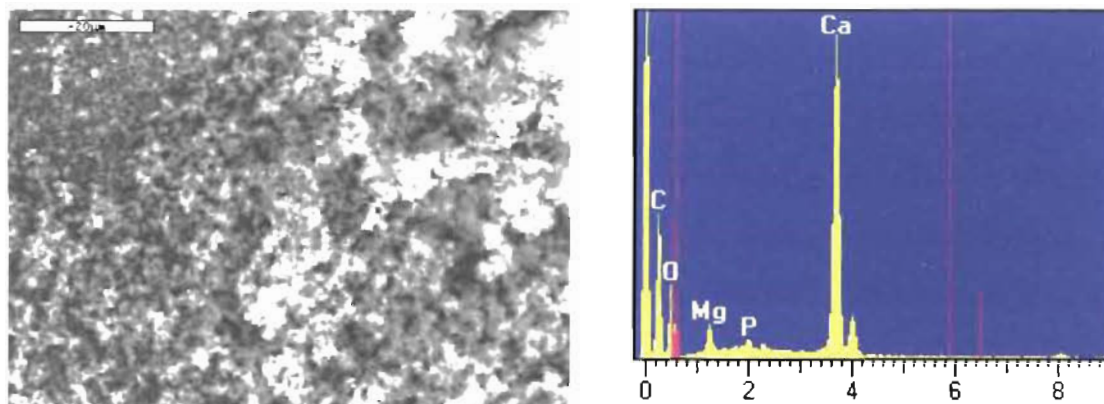


Ilustración 31. Fotografía microscópica y espectro del residuo calcinado del licor de la hoja de agave sin piel

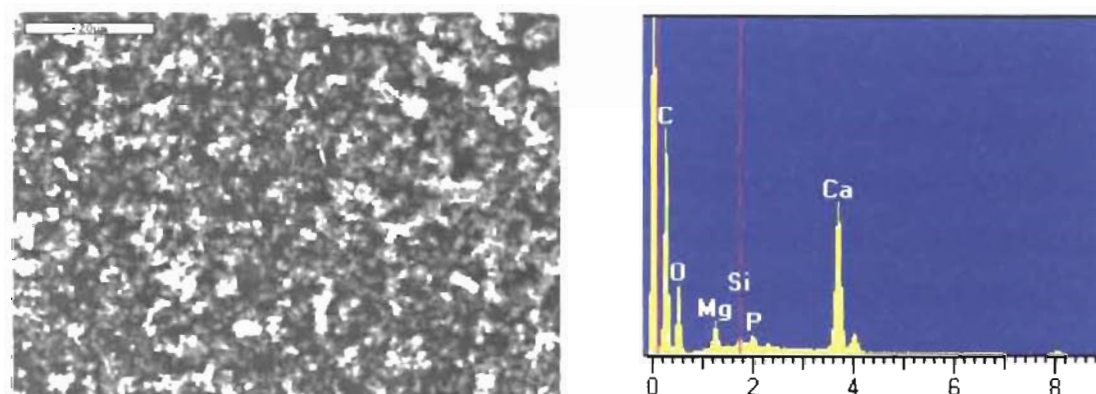


Ilustración 32. Fotografía microscópica y espectro del extracto liofilizado del licor de la hoja de agave con piel

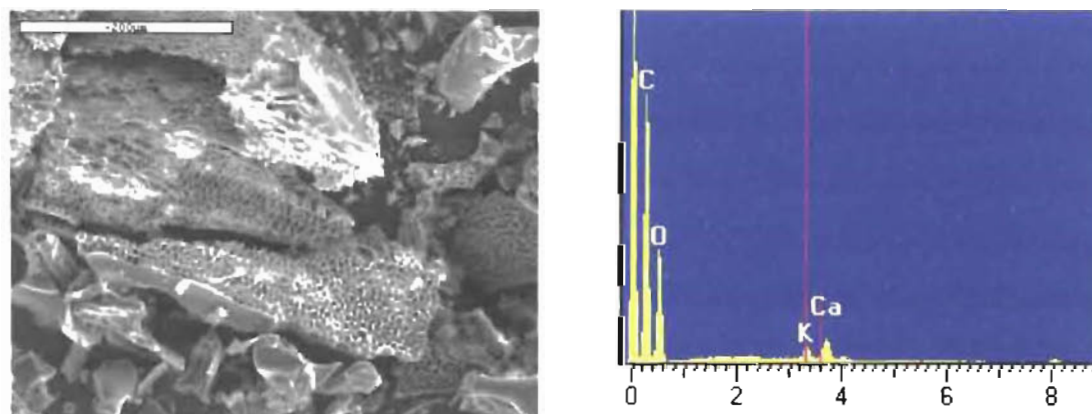


Ilustración 33. Fotografía microscópica y espectro del extracto liofilizado del licor de la hoja

de agave sin piel

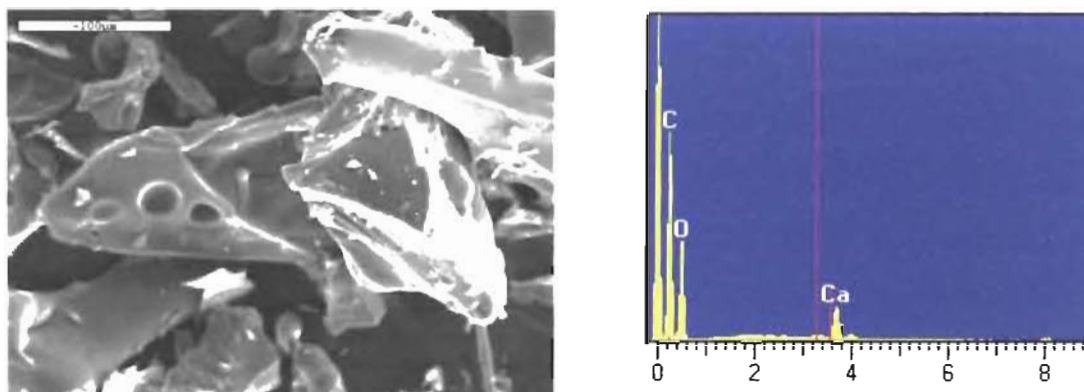
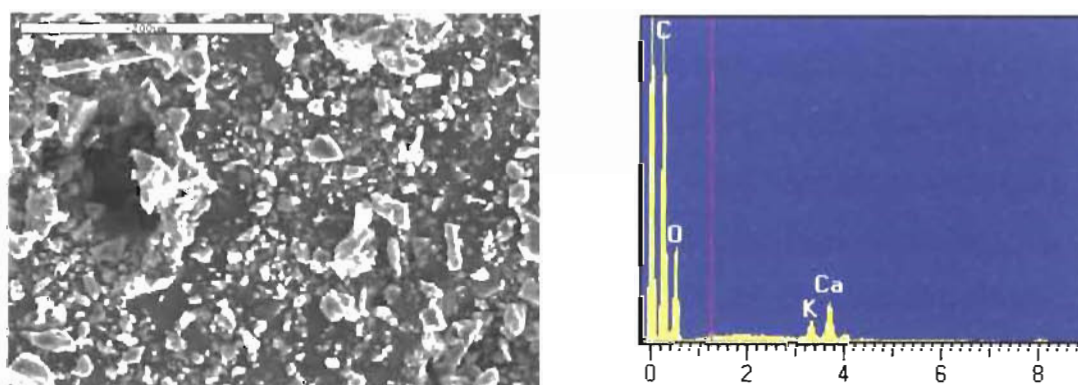


Ilustración 34. Fotografía microscópica y espectro del extracto seco del licor de la hoja de agave sin piel



4.1.10 Análisis Infrarrojo.

La característica principal de la espectrometría infrarroja es que permite identificar especies químicas a través de la determinación de la posición (número de onda) a la que distintos grupos funcionales presentan bandas de absorción en el espectro IR.

La mayor parte de las especies moleculares con pequeñas diferencias de energía entre los estados vibracionales y rotacionales son capaces de absorber radiación infrarroja. La interacción entre la radiación infrarroja y la molécula se produce cuando el vector de campo eléctrico de la radiación electromagnética oscila con la misma frecuencia que el momento dipolar de la molécula al vibrar. Por ello, para que una

vibración sea activa en IR, debe producirse un cambio en el momento dipolar neto de la molécula.

En el caso de compuestos orgánicos, se pueden clasificar las vibraciones en dos clases: vibraciones de esqueleto, en las cuales participan todos los átomos de la molécula, y vibraciones características de grupos.

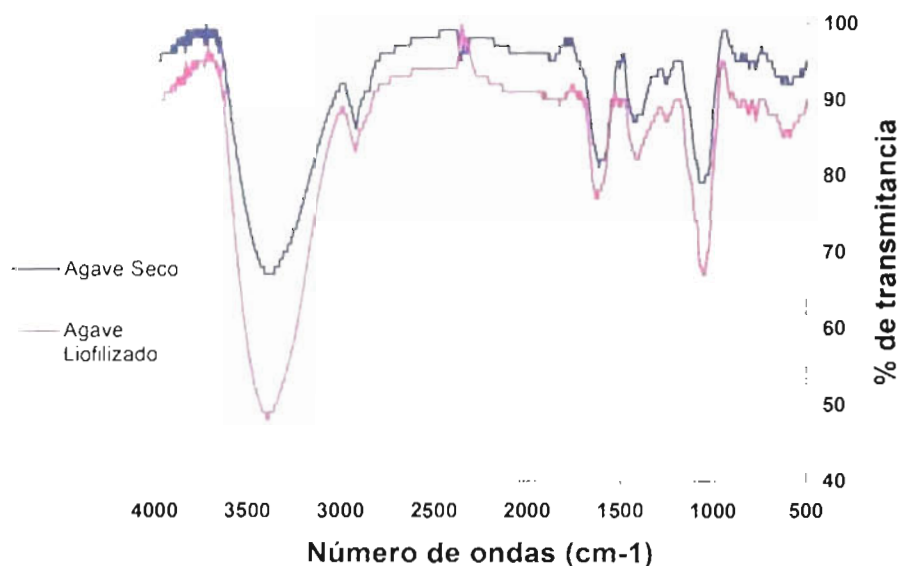
Las frecuencias de las vibraciones de esqueleto están en el intervalo $1.400 - 700 \text{ cm}^{-1}$ y depende de la estructura lineal o ramificada de la cadena hidrocarbonada del compuesto. Intervienen sobre todo los enlaces C-C en las vibraciones. No es posible asignar las bandas correspondientes a cada modo de vibracional, pero el conjunto de las bandas de esta región es característico de cada estructura molecular y por tanto equivale a su "huella dactilar" ²⁶.

Para el efecto se confeccionó una pastilla de bromuro de potasio (KBr) previamente pulverizado con el extracto seco convencional del licor de *Agave* con piel y con el extracto liofilizado con piel. La cantidad de extracto seco representa aproximadamente el 1% en masa de la mezcla. Se registró el espectro entre 4.000 y 500 cm^{-1}

El espectro IR (Gráfico 8) muestra un pico alrededor de 1.000 cm^{-1} que pertenece a los polisacáridos, un pico alrededor de 1.600 cm^{-1} que pertenece a los grupos amida (proteínas), un pico alrededor de 2920 cm^{-1} que pertenece a los grupos C-H, y un pico en 3.400 cm^{-1} que corresponde a los hidroxilos y amidas. Estos grupos funcionales corresponden con los encontrados en la bibliografía como componentes de los aditivos inclusores de aire (ver 1.2.1, pag. 11)

Cómo patrón del espectro se utilizó el identificado por S. Chandra et al. ²⁴, en extracto de cactus.

Gráfico 8. Espectro Infrarrojo del Licor de Agave Seco y Liofilizado



4.2 Estudio en pastas de cemento

4.2.1 Determinación de la consistencia normal utilizando extracto de Agave

La consistencia normal de una pasta es la resistencia que opone a la penetración de una sonda normalizada. El agua requerida para la confección de la pasta se determina por medio de sucesivos ensayos de penetración con diferentes contenidos de agua.

Para la determinación del agua de consistencia de las pastas se utilizó muestras con: 500 g de cemento Portland Tipo Cem I 52.5, agua, 5 g de los licores de distintas plantas de *Agave* y distintas partes de la hoja, 5 g del aditivo superplastificante *SPs*.

Para efectos de cálculo de la relación A/C se corrigió el agua de amasado en 4.6 gramos para las muestras con licor de *Agave* y 3 g para el aditivo comercial,

correspondientes al 92% del promedio ponderado de agua contenida en el licor de *Agave* y 60% del superplastificante obtenido mediante el ensayo de extracto seco convencional. (Ver sección 3.2.1 1).

En la Tabla 15 se indica que para conseguir la consistencia normal en una pasta de cemento testigo se utilizó una relación A/C 0.32. Para esa misma consistencia, utilizando licor de *Agave* con piel se usó una relación A/C 0,2866 y sin piel 0,2912. En la pasta con aditivo comercial se empleó una relación A/C 0,2560.

Estos resultados implican que la adición del licor de *Agave* en una pasta de cemento disminuye la cantidad de agua de consistencia normal en un 10% aproximadamente respecto a la muestra testigo y la de un superplastificante en un 20%.

Aunque no es significativa la diferencia en la relación A/C cuando se utiliza el licor de *Agave* con piel o sin piel sí se advierte una menor cantidad de agua cuando se utiliza el licor con piel lo que nos da indicios sobre la existencia de compuestos activos plastificantes en esa parte de la hoja.

Tabla 15. Determinación de la Consistencia Normal en la pasta de cemento con licor de *Agave*

Muestra	Sección	Aditivo	Agua de amasado ajustada	Relación A/C ajustada	Distancia de la base a la punta de la sonda
		g	g		mm
Testigo		0	160,00	0.3200	5,00
Licor de <i>Agave</i> con piel	1/3 - cp	5,00	143.30	0.2866	7.00
Licor de <i>Agave</i> sin piel	3/3 - sp	5,00	145,60	0.2912	7,00
Sikament FF		5,00	128,00	0,2560	5,00

4.2.2 Viscosidad

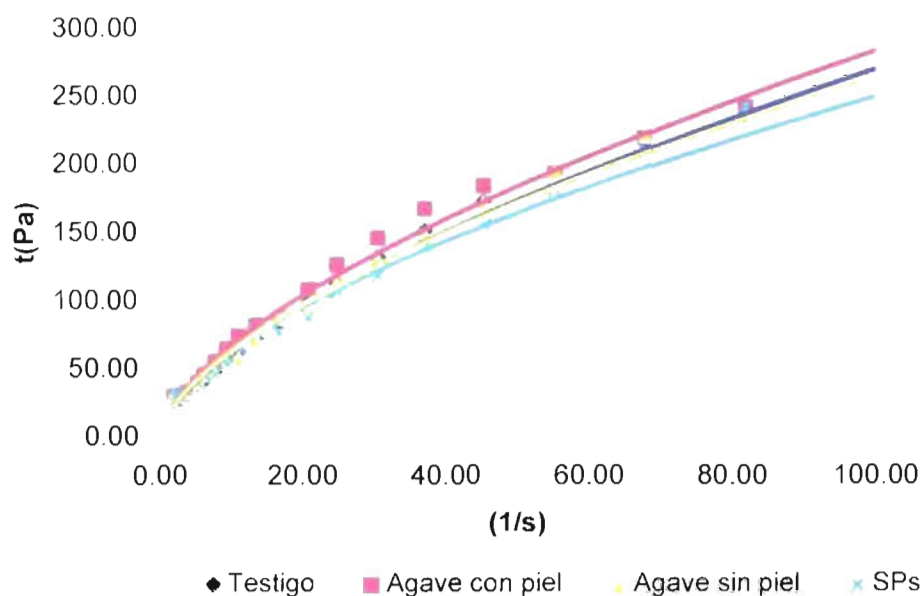
La viscosidad de las pastas de cemento es la resistencia que opone dicha pasta a un flujo predeterminado. La resistencia que un fluido opone al flujo puede ser modelada como la situación existente entre dos planos paralelos, donde uno de ellos se mueve en la dirección de su propio plano y el otro está fijo. Se considera que el flujo es unidimensional y que la velocidad varía de forma directamente proporcional a la distancia perpendicular entre los planos.

Los ensayos realizados están enfocados a estudiar el efecto, sobre la viscosidad de las pastas, de la disminución de la relación A/C, determinada en el ensayo de consistencia normal (ver sección 4.2), y de la adición del licor de *Agave* con piel (relación A/C 0.2866), *Agave* sin piel (relación A/C 0.2912) y la pasta con el superplastificante comercial (relación A/C 0.2560), respecto al agua de consistencia de la pasta testigo (relación A/C 0.3200).

En el Gráfico 9, se muestran los resultados obtenidos. Los marcadores indican los datos experimentales de la rampa descendente, y las líneas corresponden al ajuste matemático realizado sobre ellos.

Para todos los tipos de pastas ensayados se observa claramente que el esfuerzo de cizalla es prácticamente el mismo de la pasta testigo, al disminuir la relación A/C y adicionar bien sea el licor de *Agave* o el SPs. Así, los resultados corroboran los datos obtenidos en el ensayo de consistencia normal y determinan el efecto plastificante, en pastas, del licor de *Agave*.

Gráfico 9. Efecto del licor del *Agave* y el SPS en la viscosidad de las pastas



4.2.3 Determinación de tiempo de fraguado en pastas utilizando extracto de *Agave*

Los tiempos iniciales y finales de fraguado se determinan mediante la resistencia a la penetración de una aguja específica en una masa de pasta.

La influencia del licor de la plantas sobre el tiempo de fraguado se determinó sobre las mismas pastas utilizadas para la consistencia normal de acuerdo a norma UNE-EN 196-3¹⁸.

De lo visto en la Tabla 16, cuando se utiliza el licor de *Agave*, en cualquiera de los dos casos, sin piel y con piel, aumentan los tiempos iniciales y finales de fraguado de las pastas respecto a la muestra testigo. Se observa también que estos tiempos son mayores, cuando se ha utilizado el extracto de *Agave* con piel que cuando se usa sin piel.

Estos incrementos en los tiempos de fraguado se sitúan alrededor de 150% para el fraguado inicial y el 115% para el fraguado final. Se podría adjudicar este fenómeno al contenido de azúcares del licor de *Agave* que actúan como retardantes de fraguado.

Tabla 16. Determinación de los tiempos inicial y final de fraguado en las pastas de cemento

Muestra	Sección	Extracto de licor de <i>Agave</i>	Agua de amasado ajustada	Relación A/C ajustada	Tiempo de fraguado inicial	Tiempo de fraguado final
		g	g		minutos	minutos
Testigo		0	160,00	0.3200	117	190
3(1)	1/3 - cp	5,00	143.30	0.2866	290	410
3(1)	3/3 - sp	5,00	145,60	0.2912	191	288

4.3 Estudios en morteros de cemento Pórtland Cem I – 52.5

Los ensayos de morteros se realizaron comparativamente. Es decir, las prestaciones de los aditivos se determinaron por comparación entre un mortero de referencia que contenía aditivo (mortero de ensayo) y un mortero de referencia sin aditivo (mortero testigo). Se utilizó, en todos los casos, como mortero de referencia el mortero normalizado según la Norma EN 196-119.

En resumen se prepararon muestras de licor de *Agave* y *SPs*, a igual relación agua/cemento (*Ag1* y *SPs1*) e igual consistencia (*Ag2* y *SPs2*) del mortero testigo. Este último resultado se obtuvo al determinar la consistencia en mesa de sacudidas, como se verá más adelante en la siguiente sección. En todos los morteros que contienen aditivo, éste se ha dosificado en una proporción del 1.1% respecto a la masa de cemento.

Las muestras se prepararon siguiendo la denominación que aparece en la Tabla 17.

Tabla 17. Denominación de muestras de mortero

Muestra	Aditivo	Cemento	Arena	Agua	Masa de aditivo respecto al cemento	Relación A/C ajustada
		g	g	g	%	
Testigo	Sin	450	1350	225,0	0	0,50
Ag1	Licor de Agave con piel	450	1350	220,4	1,1	0,50
Ag2	Licor de Agave con piel	450	1350	196,0	1,1	0,45
SPs1	Sikament FF	450	1350	222,0	1,1	0,50
SPs2	Sikament FF	450	1350	197,0	1,1	0,44

4.3.1 Determinación del índice de consistencia en morteros utilizando extracto de Agave y superplastificante

Los morteros y hormigones de cemento en estado fresco se consideran suspensiones de distintos materiales en forma de partículas que presentan características muy diversas en cuanto a propiedades tales como densidad, tamaño de partícula y composición química. Este conjunto de partículas se encuentra disperso en una disolución de hidróxido cálcico junto con otros componentes, generando un sistema dinámico debido a que, al mezclar el cemento y el agua, se producen una serie de reacciones químicas (principalmente hidratación de silicatos y aluminatos cálcicos), que son responsables del endurecimiento de la pasta de cemento 27. La inclusión de aditivos modifica las cualidades de la mezcla, lo que se hace apreciable en los distintos ensayos hasta ahora expuestos.

El índice de consistencia es el escurrimiento que tiene una masa de mortero específica, determinada por el volumen de un molde, después de que le son aplicados quince golpes en una mesa de sacudidas especialmente diseñada para ello. Nos muestra cómo afecta el aditivo a la consistencia de la mezcla

cementante (y por lo tanto la facilidad de puesta en obra de un hormigón con cada uno de los aditivos). Cada índice es el promedio de tres determinaciones, sobre una mezcla de iguales características.

El ensayo se realizó en muestras con relación A/C y con consistencia iguales a la muestra testigo. Primero se determinó la consistencia en mesa de sacudidas de la muestra testigo con una relación A/C de 0.5; posteriormente se midieron las consistencias de las mezclas con adición de licor de *Agave* y superplastificante a la misma relación A/C: 0.5 descontando para el efecto su contenido de agua, 92% para el licor de *Agave* y 60% en el *SPs* (muestras *Ag1* y *SPs1*).

Teniendo el dato de la consistencia de la muestra testigo, se hicieron tanteos sobre las muestras con aditivos, con distintas cantidades de agua para obtener aproximadamente ese mismo valor. A esas muestras las denominamos de consistencia constante. (muestras *Ag2* y *SPs2*)

Los resultados obtenidos, cuyo procedimiento fue descrito en la sección 3.2.3.3, se muestran en la Tabla 18.

Se pueden hacer las siguientes observaciones respecto al estudio de consistencia:

- Para relaciones A/C constante (0.5) tanto el licor de *Agave* como el *SPs* aumentan la consistencia de la muestra. Es mucho mayor el aumento de la consistencia cuando se adiciona *SPs*, que el licor de *Agave*.
- Para conseguir la misma consistencia de la muestra testigo, tanto el licor de *Agave* como el *SPs* reducen la cantidad de agua de amasado y por lo tanto la relación A/C. Sin embargo, y en contraste con el anterior, la diferencia entre las dos relaciones A/C (0,44 para *SPs* y 0,45 para licor de *Agave*) es mínima, lo que nos hace suponer que existe un límite en la relación A/C a partir del cual el licor de *Agave* deja de producir efectos plastificantes comparables con un aditivo comercial.

Tabla 18. Determinación de la Consistencia, Aumento de la Consistencia y Reducción del Agua de Amasado

Muestra	Relación A/C ajustada	Consistencia	Promedio	Aumento de la consistencia	Reducción del agua de amasado
		%	%	%	%
Testigo	0,50	57,8	57,43	0,00	0,00
		59,5			
		55,0			
Ag1	0,50	73,5	88,67	54,88	0,00
		90,5			
		102,0			
Ag2	0,45	42,5	57,67	0,73	-12,44
		60,0			
		70,5			
SPs1	0,50	143,5	136,00	137,55	0,00
		140,0			
		124,5			
SPs2	0,44	59,5	59,50	3,93	-13,33
		58,0			
		61,0			

4.3.2 Determinación del tiempo de fraguado en morteros utilizando extracto de Agave y superplastificante

Se pretende con este ensayo determinar el comportamiento de los tiempos de fraguado de los morteros, por la presencia del licor de Agave en la proporciones indicadas anteriormente: igual relación A/C e igual consistencia, y compararla con el comportamiento que presenta un mortero testigo y un mortero con aditivo superplastificante comercial.

El principio del ensayo consiste en medir la resistencia a la penetración que opone un mortero a una aguja cuyo peso está especificado en 1000 g. El procedimiento seguido es de la norma UNE-EN 480-2 ²⁰.

En los resultados obtenidos, relacionados en la Tabla 19, se observa que:

- El licor de *Agave* aumenta considerablemente los tiempos de fraguado respecto a la muestra testigo y a la muestra *SPs*.
- Los tiempos iniciales de fraguado se aumentan en un 196% para igual relación A/C y un 65% para igual consistencia, respecto a la muestra testigo.
- Los tiempos finales de fraguado se aumentan un 198% y un 129% a igual relación A/C y a igual consistencia respectivamente.
- El aditivo *SPs* se comporta de forma similar a la muestra testigo. Los menores tiempos que se aprecian a igual consistencia (A/C 0.44) se debe al menor contenido de agua en la mezcla pues a igual relación A/C el comportamiento es prácticamente similar. Este fenómeno hace que exista también una diferencia de los tiempos de fraguado del *SPs* respecto al licor de *Agave*.

El aumento en los tiempos de fraguado de las mezclas con licor de *Agave* respecto a la muestra testigo y al *SPs* se le podría atribuir, al igual que en las pastas (ver 4.2.2), al contenido de polisacáridos y proteínas de la planta.

De acuerdo a los requisitos definidos por la Norma Europea para los aditivos retardadores de fraguado, a igual consistencia (ver sección 1.2.1), los valores de tiempos de fraguado que lo definirían como tal, en nuestro caso, serían: fraguado inicial ≥ 242 minutos y el fraguado final ≤ 545 . De aquí podemos deducir que el licor de *Agave* tiene un comportamiento característico de un aditivo reductor de fraguado, no así, el aditivo superplastificante comercial.

Tabla 19. Determinación de los tiempos inicial y final de fraguado en morteros

Muestra	Masa de aditivo respecto al cemento	Relación A/C ajustada	Tiempo de fraguado inicial	Tiempo de fraguado final
	%		Minutos	minutos
Testigo	0	0.50	152	185
Ag1	1,1	0.50	450	550
Ag2	1,1	0.45	250	425
SPs1	1,1	0,50	140	180
SPs2	1,1	0.44	110	175

4.3.3 Determinación de la absorción capilar utilizando a 7 días de curado utilizando extracto de Agave y superplastificante.

Consiste en medir la masa de agua absorbida por una probeta de mortero, fabricada según la norma UNE-EN 196-1¹⁹, después de 7 días de curado y levemente sumergida en agua por otros 7 días.

En la Tabla 20 y en el Gráfico 10 se pueden observar los siguientes resultados:

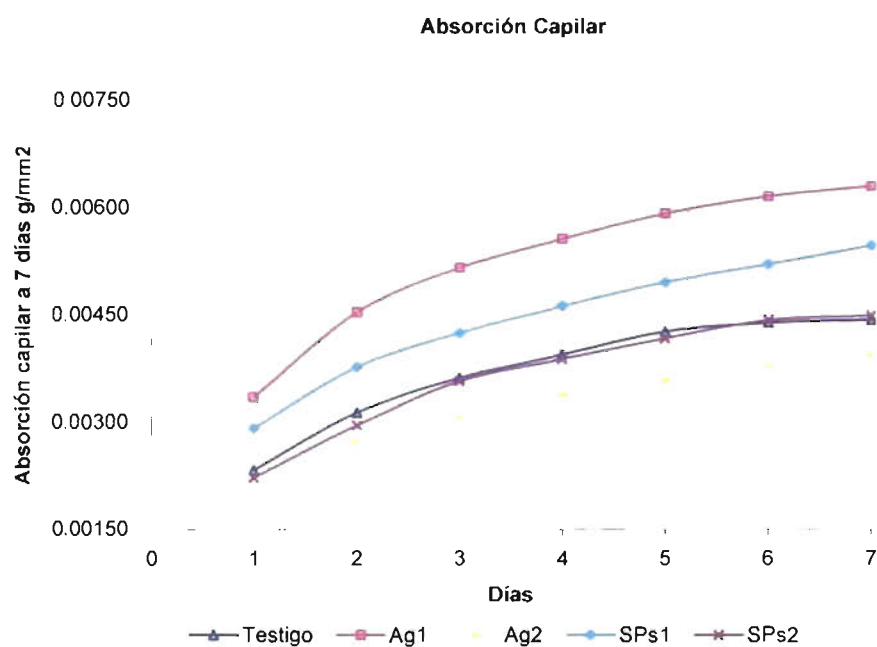
- ☛ La menor absorción capilar se obtiene en la muestra de licor de Agave Ag2 (a igual consistencia que el testigo).
- ☛ La muestra Ag1 (relación A/C constante), presenta la mayor cantidad de agua absorbida. Este comportamiento se podría atribuir a que existe una mayor cantidad de agua no combinada que al ser liberada deja conductos capilares en la matriz.
- ☛ El SPs presenta un comportamiento similar a la muestra testigo a igual consistencia.
- ☛ A igual relación A/C el SPs aumenta la absorción capilar respecto a la muestra testigo. Se podría atribuir a los canales capilares dejados por la liberación del agua no combina al igual que en el licor de Agave.
- ☛ Los datos extremos, la mayor y la menor absorción capilar, se presenta en la muestra con licor de Agave, a igual relación A/C e igual consistencia, respectivamente. Esto nos induce a pensar que existe un valor máximo y mínimo de

adición de licor de *Agave* que sería el óptimo para disminuir la absorción capilar respecto a la muestra testigo y a la muestra con un aditivo comercial.

Tabla 20. Determinación de la absorción capilar en mortero a 7 días de curado

Muestra	Relación A/C ajustada	Capilaridad a 7 días						
		Tiempo de curado a 20°						
		1 día	2 días	3 días	4 días	5 días	6 días	7 días
		g/mm ²	g/mm ²	g/mm ²	g/mm ²	g/mm ²	g/mm ²	g/mm ²
Testigo	0,50	0,00233	0,00314	0,00363	0,00395	0,00427	0,00439	0,00443
Ag1	0,50	0,00335	0,00453	0,00516	0,00556	0,00591	0,00616	0,00630
Ag2	0,45	0,00196	0,00273	0,00308	0,00338	0,00358	0,00378	0,00394
SPs1	0,50	0,00292	0,00377	0,00425	0,00462	0,00496	0,00521	0,00547
SPs2	0,44	0,00222	0,00296	0,00358	0,00389	0,00417	0,00443	0,00449

Gráfico 10. Absorción capilar a 7 días de curado



4.3.4 **Determinación del contenido de aire ocluido utilizando extracto de Agave y superplastificante**

Este ensayo determina, en porcentaje de volumen, el aire ocluido en los morteros frescos, con y sin aditivos, mediante la inclusión de aire a presión a una masa de mortero determinada (aproximadamente 1 litro).

Igualmente se utilizaron los pesos de las probetas del ensayo de absorción capilar, después de 7 días de curado en la cámara a 65 ± 5 % de humedad relativa, para determinar la densidad y hacer las correlaciones con los resultados de aire ocluido.

Las muestras fueron preparadas siguiendo el procedimiento descrito en la sección 3.2.3.4, con muestras comparativas a igual relación A/C e igual consistencia. De cada muestra se hicieron tres determinaciones.

Los resultados, que se observan en la Tabla 21 y el Gráfico 11, se describen a continuación:

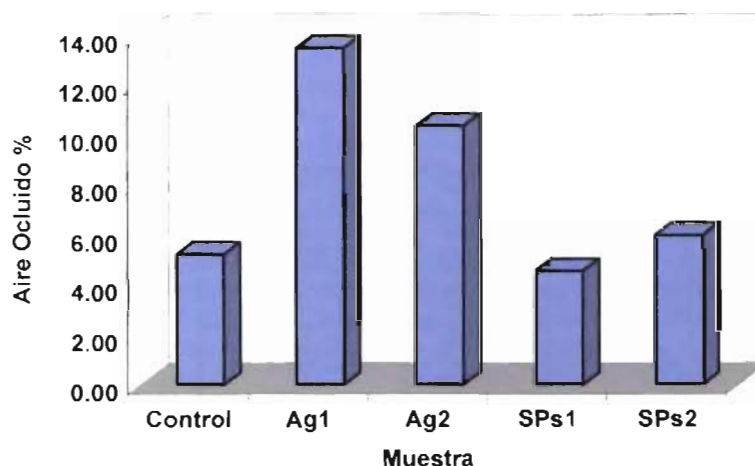
- El licor de *Agave* ocluye una mayor cantidad de aire respecto a la muestra testigo y al *SPs*, tanto a relación A/C como consistencia constante.
- La adición del licor de *Agave* en una muestra de relación A/C: 0,5 señala una mayor cantidad de aire ocluido respecto a la muestra de mortero con licor de *Agave* con relación A/C: 0,45. Esto nos induce a pensar que el licor de *Agave* reacciona con el agua de mezclado para desarrollar sus cualidades como aditivo aireante.
- La muestra de *SPs*, a igual relación A/C disminuye ligeramente la cantidad de aire respecto de la muestra testigo, quizá por el hecho de que compacta mejor y permite la liberación de aire ocluido por sur una mezcla muy fluida.
- La muestra *SPs*, a igual consistencia, es aproximadamente igual a la muestra testigo.

Según estos resultados el licor de *Agave*, cumpliría la Norma Europea (ver sección 1.2.2), como aditivo inclusor de aire ya que su contenido en aire ocluido en mortero fresco, de igual consistencia, es \geq del 2,5% en volumen al del mortero testigo.

Tabla 21. Determinación del aire ocluido.

Muestra	Relación A/C ajustada	Determinación	Aire Ocluido	Promedio
			%	%
Testigo	0,50	1	5,10	5.2
		2	5,00	
		3	5,60	
Ag1	0,50	1	11,50	13.5
		2	14,50	
		3	14,50	
Ag2	0,45	1	9,20	10.4
		2	9,40	
		3	12,50	
SPs1	0,50	1	3,40	4.1
		2	4,40	
		3	4,50	
SPs2	0,44	1	6,00	6.0
		2	6,60	
		3	5,40	

Gráfico 11. Aire Ocluido



Como se precisó anteriormente los resultados de la densidad de las muestras se obtuvieron de las probetas fabricadas para el ensayo de absorción capilar a 7 días, después de 7 días de curado en la cámara a 65 ± 5 % de humedad relativa. Los resultados se muestran en la y el Gráfico 12, y nos indican:

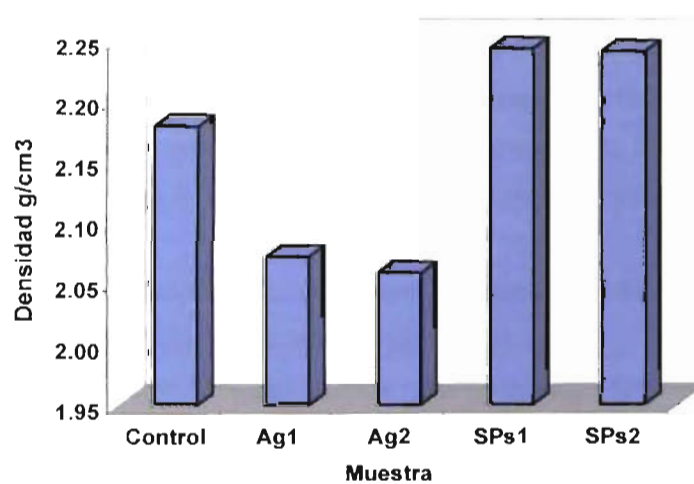
- La menor densidad, respecto a la muestra testigo, se manifiesta en las muestras con licor de *Agave*.
- La mayor densidad, con respecto a la muestra testigo, se observa en las muestras con *SPs*. Lo que nos induce a pensar que el aditivo superplastificante además de de aumentar la consistencia aumenta la compacidad de la mezcla.
- No se observan diferencias entre las densidades de las muestras realizadas con el mismo aditivo.

Estos datos confirman el resultado anterior respecto al *Agave* como agente ocluidor de aire.

Tabla 22. Densidad de morteros después de 24 horas de curado en cámara húmeda

Muestra	Relación A/C ajustada	Determinación	Peso	Promedio	Densidad
			g	g	g/cm ³
Testigo	0,50	1	557,83	558,64	2,18
		2	557,70		
		3	560,40		
Ag1	0,50	1	524,56	530,08	2,07
		2	537,16		
		3	528,53		
Ag2	0,45	1	528,84	526,80	2,06
		2	525,67		
		3	525,88		
SPs	0,50	1	569,81	574,09	2,24
		2	580,23		
		3	572,21		
SPs2	0,44	1	567,84	573,40	2,24
		2	573,11		
		3	579,24		

Gráfico 12. Densidad de los morteros



4.3.5 **Determinación de las resistencias mecánicas de morteros fabricados con licor de Agave y superplastificante**

El objetivo de esta sección es estudiar el comportamiento a flexión y compresión de los morteros fabricados con licor de Agave y los resultados compararlos con el del SPs, a igual relación A/C y a igual consistencia.

Se realizaron probetas de acuerdo a la denominación y descripción de la sección 4.3 para ensayara mecánicamente a 2, 7, 14, 28 y 90 días. Para todos los ensayo se siguió el procedimiento descrito en la sección 3.2.3.5.

4.3.5.1 **Resistencia a flexo-tracción**

En la Tabla 23 y en el Gráfico 13 se muestran los resultados obtenidos para los ensayos de flexotracción en probetas de mortero. Las observaciones son las siguientes:

- La resistencia a flexotracción de la muestra con licor de Agave con relación A/C: 0,5 manifiesta un ligero decrecimiento respecto a la muestra testigo.
- La resistencia a flexotracción de la muestra con licor de Agave a relación A/C: 0,45, e igual trabajabilidad, se comporta de manera prácticamente similar a la muestra testigo e incrementa su resistencia con respecto a la misma con relación A/C 0,5. Sin embargo a 2 días presenta una ganancia mayor de resistencia que la muestra testigo.
- Las dos muestras con licor de Agave, después de 7 días, tienden a disminuir o conservar su resistencia respecto a la muestra testigo.
- La muestras con SPs, en ambos casos, mejoran la resistencia a todas las edades, respecto a la muestra testigo a la muestra con licor de Agave.
- La muestras con SPs, tienen básicamente el mismo comportamiento a todas las edades.

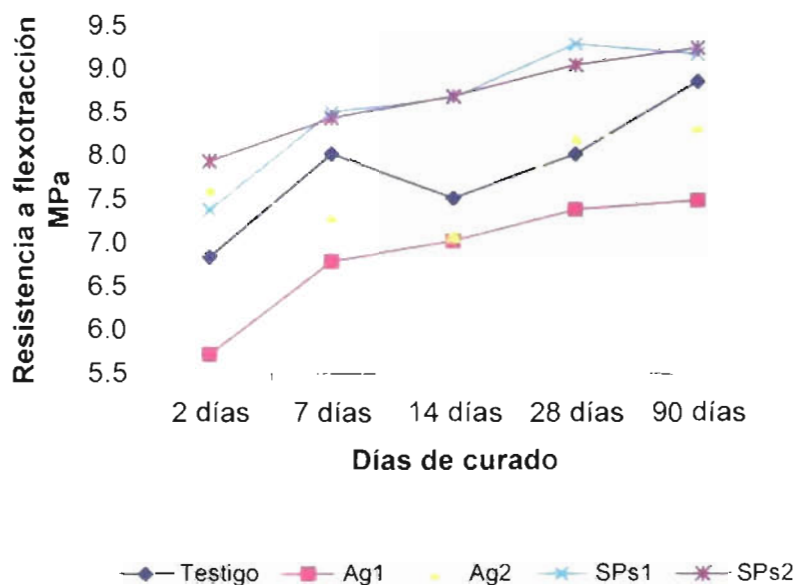
Se puede concluir que:

- ☛ En general, los morteros con licor de *Agave* presenta resistencias similares ó muy ligeramente inferiores respecto a las del mortero testigo, aunque en ningún caso la disminución es grande.
- ☛ En el caso del plastificante comercial los valores son similares al mortero testigo o ligeramente superiores.
- ☛ No se observa una variación importante en los morteros con *Agave* en función de la relación A/C, a tiempos de curado medios y largos (14 – 90 días), mientras que sí parecen tener influencia a tiempos cortos de curado (2 – 7 días) donde la disminución de la relación A/C, aumenta el valor de la resistencia a flexotracción.
- ☛ En el caso del SPs comercial no existe mayor influencia en los valores de resistencia respecto a la relación A/C, siendo en todas las edades estudiadas prácticamente coincidentes.

Tabla 23. Resistencias a flexotracción en morteros fabricados con licor de *Agave* y SPs

Muestra	Relación A/C ajustada	Resistencia a flexotracción (MPa)				
		Tiempo de curado a 20° C				
		2 días	7 días	14 días	28 días	90 días
Control	0,50	6,9	8,0	7,5	8,0	8,9
Ag1	0,50	5,7	6,8	7,0	7,4	7,5
Ag2	0,45	7,6	7,3	7,1	8,2	8,3
SPs1	0,50	7,4	8,5	8,7	9,3	9,2
SPs2	0,50	7,9	8,4	8,7	9,1	9,3

Gráfico 13. Evolución de las Resistencias a Flexotracción con el tiempo de curado a 20°C.



4.3.5.2 Resistencia a compresión

En la Tabla 24 y en el Gráfico 14 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de compresión sobre probetas de mortero. Las observaciones son las siguientes:

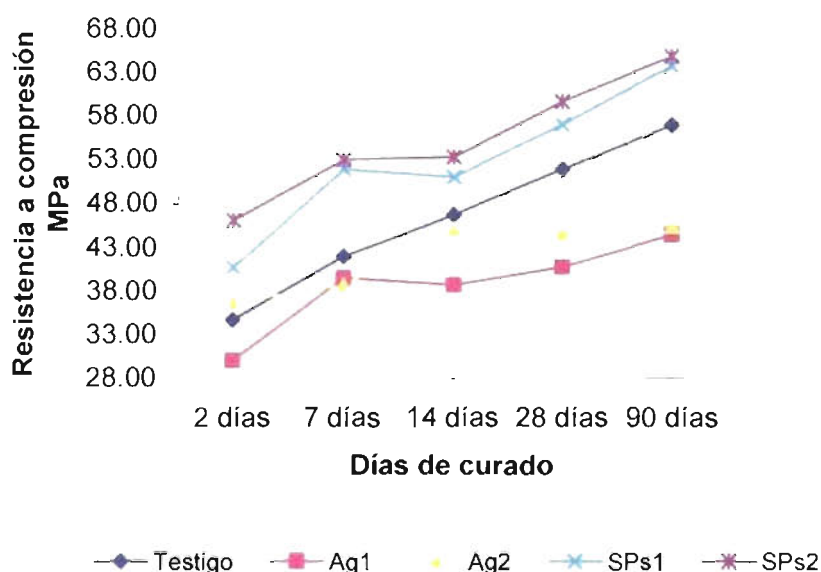
- La resistencia a compresión de la muestra con licor de *Agave* con relación A/C: 0,5 manifiesta un ligero decrecimiento respecto a la muestra testigo.
- La resistencia a compresión de la muestra con licor de *Agave* a relación A/C: 0,45, e igual trabajabilidad, muestra un pequeño incremento de resistencia a los dos días respecto al testigo pero ofrece un posterior decrecimiento después de los 14 días de curado.
- Las dos muestras con licor de *Agave* tienden a disminuir o conservar su resistencia respecto a la muestra testigo después de los 14 días de curado.
- Las muestras con *SPs*, en ambos casos, mejoran la resistencia a todas las edades, respecto a la muestra testigo y a las muestras con licor de *Agave*.

La muestras con *SPs*, tienen básicamente el mismo comportamiento a todas las edades.

Tabla 24. Resistencias a Compresión en morteros fabricados con licor de *Agave* y *SPs*

Muestra	Relación A/C ajustada	Resistencia a Compresión MPa				
		Tiempo de curado a 20° C				
		2 días	7 días	14 días	28 días	90 días
Control	0,50	34,70	42,03	46,70	51,86	56,86
Ag1	0,50	30,05	39,56	38,74	40,83	44,46
Ag2	0,45	36,72	38,75	45,07	44,66	45,43
SPs1	0,50	40,73	51,83	50,94	56,96	63,65
SPs2	0,44	46,09	52,90	53,24	59,57	64,77

Gráfico 14. Evolución de las Resistencias a Compresión con el tiempo de curado a 20°C.

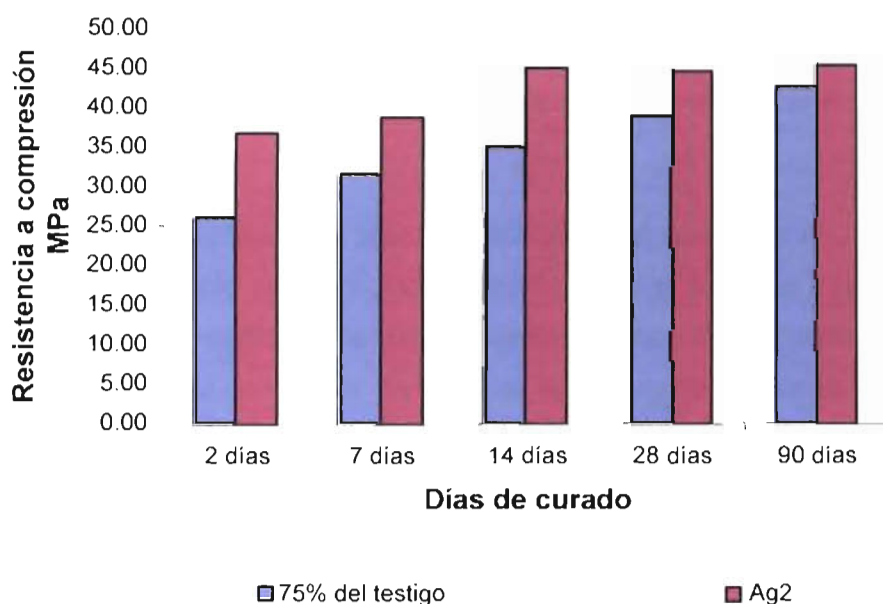


Las menores resistencias que se observan en las muestras con licor de *Agave* se atribuyen a la existencia de burbujas microscópicas que son ocluidas por efecto de la reacción del licor con el agua, y por la consecuente disminución en la densidad del mortero.

El aumento de la resistencia de las muestras con *SPs* ha sido explicada por N. Spiratos et al ²⁸. El incremento de las resistencias a flexión y compresión cuando se disminuye la relación *A/C*, de 0,5 a 0,44 es atribuible a la reducción del agua en la mezcla. Sin embargo los citados autores han demostrado incrementos en resistencia a la compresión, flexión y el módulo de elasticidad, en hormigones de alta trabajabilidad, autocompactantes, a igual relación *A/C* que una muestra sin aditivo, con adición de superplastificantes basados en melamina.

Los valores obtenidos en los morteros con *Agave* se encuentran dentro de los definidos por la Norma Europea para los aditivos inclusores de aire (ver sección 1.2.2). Como allí se comenta estos deben ser mayores del 75% de la resistencia del mortero testigo para una misma consistencia. Si calculamos estos valores (ver Gráfico 15) observamos que para todas las edades estudiadas encontramos valores dentro de la norma, por lo que se puede considerar al licor de *Agave* como un aditivo inclusor de aire en morteros y hormigones.

Gráfico 15. Resistencia a compresión a igual consistencia. Comparativo entre el 75% del mortero testigo y el mortero con licor de *Agave*



5 CONCLUSIONES

A la vista de los resultados experimentales obtenidos y basándonos en la discusión realizada en esta memoria, podemos establecer las siguientes conclusiones de acuerdo a los parámetros de caracterización y comportamiento de licor de *Agave* comparado con morteros testigos y con morteros con aditivo superplastificante comercial.

- 1) Respecto a su caracterización física, el licor de la planta *Agave* es un líquido de color verde poco denso; muestra un bajo contenido de sólidos, representados fundamentalmente en materia vegetal y carbonatos, y un alto contenido agua, fenómeno que se observa principalmente en las secciones bajas de la hoja.
- 2) Respecto a su caracterización química, el licor de la planta de *Agave* es una sustancia de naturaleza ácida, con muy poco contenido de cloruros y baja conductividad. Está compuesto básicamente por grupos funcionales polisacáridos y proteínas.
- 3) El licor de la planta de *Agave* tiene los siguiente efectos en la mezcla de mortero en estado fresco:
 - a) Aumenta la consistencia de la mezcla hasta 55% con relaciones A/C constante. Los polisacáridos no sólo actúan como inclusores de aire sino que causan un efecto lubricante entre las partículas de la masa. Se destaca que en las pastas se consigue la consistencia normal con menor cantidad de agua cuando el licor es producto de la hoja con piel que sin piel. De esto se deduce que posiblemente mucha parte del componente activo plastificante se encuentre en la piel de la hoja.
 - b) Disminuye el contenido de agua hasta en un 12% conservando la consistencia.
 - c) Ocluye porcentajes de aire, respecto a la masa, hasta de un 13%, al parecer producto de los polisacáridos y las proteínas.

- d) Aumenta considerablemente los tiempos iniciales y finales de fraguado. El tiempo inicial y final de fraguado, a igual relación A/C se incrementa hasta en un 200% y a igual trabajabilidad el inicial un 64% y el final un 130% aproximadamente. Contrasta con los resultados del aditivo superplastificante comercial que en ambos casos disminuye los tiempos iniciales y finales de fraguado. Es pertinente señalar que de los resultados obtenidos en pastas, es menor la diferencia en los tiempos de fraguado cuando se utiliza el licor sin piel. Esto ratifica lo dicho anteriormente en la trabajabilidad, que parece que el componente activo se encuentra mayoritariamente en la piel de la hoja.
- 4) En el mortero endurecido, el licor de la planta de *Agave*, tiene los siguiente efectos:
- a) Incrementa la resistencia a la absorción capilar a iguales consistencias. A 7 días el incremento con respecto a la muestra testigo es de 11% aproximadamente.
 - b) Reduce en 5% aproximadamente la densidad con respecto a la muestra testigo debido a la inclusión de aire.
 - c) Disminuye ligeramente la resistencia a la flexotracción, a igual relación A/C, pero la conserva a igual consistencia. Se observa un ligero incremento de la resistencia a flexotracción a edades de 2 días de curado.
 - d) Disminuye la resistencia a compresión a igual relación A/C y a igual consistencia y en todas las edades. Esto es producto de la inclusión de pequeños burbujas dentro de la matriz, y del retraso en la reacciones de hidratación del cemento por efecto de la materia orgánica.
- 5) Los anteriores resultados determinan que el licor de *Agave* se podría clasificar como un aditivo aireante de acuerdo a la Norma Europea ⁴. Como inductor de aire aporta los siguiente atributos a los morteros y hormigones:

- a) Aumenta la consistencia y por ende su trabajabilidad para ser puesto en secciones estructurales donde es difícil acceder con equipos de compactación;
 - b) incrementa la durabilidad al hielo – deshielo por razón de los pequeños microporos que actúan como válvulas del agua retenida en la matriz; su uso es especialmente importante en carreteras de hormigón y pistas de aeropuerto en países de climas extremos y altas precipitaciones de nieve,
 - c) el hormigón que es producido usando arenas con deficiencia en los tamaños finos, muestra una tendencia a la exudación y a la segregación. La presencia de pequeñas cantidades de aire ocluido incrementa la cohesión o estabilidad de la mezcla;
 - d) ocluyendo grandes cantidades de aire, para bajar la densidad del hormigón, se logran incrementar las propiedades de aislamiento térmico o producir hormigón ligero en unión con áridos ligeros.
- 6) Con estos estudios preliminares se abren preguntas investigativas que a manera de propuesta se tendrán en cuenta para la continuación de este trabajo. Entre otras se proponen:
- a) Estudiar un procedimiento de extracción y concentración de la materia activa del licor que permita mejorar sus atributos como plastificante;
 - b) Estudiar alternativas de conservación del licor pues por su acidez presenta una pronta fermentación y conocer las consecuencias que tendría en las mezclas de mortero y hormigón
 - c) utilizar como comparativo un aditivo comercial inclusor de aire y retardante.
 - d) estudiar la dosificación y contenido de aire óptimos para obtener morteros y hormigones de buena trabajabilidad sin afectar sus propiedades mecánicas;
 - e) estudiar los efectos de: la relación A/C , características del cemento, temperatura, tipo y contenido de árido, filler finos y puzolanas en mezclas de mortero y hormigón;

- f) estudiar la durabilidad de las mezclas, expresada como la resistencia al agente agresor hielo-deshielo.
- 7) El desarrollo investigativo de este trabajo tendría un alto impacto e interés en países de producción agroindustrial del *Agave*, sobre todo en América central y del sur, pues se reduciría el impacto ambiental generado por los desperdicios contaminantes del proceso de fabricación de la fibra y se daría un valor agregado a la planta. Por otra parte las semejanzas entre *Agave* y otras plantas del género *Furcraea*, utilizadas para la obtención de fibras, puede permitir extrapolar los resultados de estas investigaciones para ser aplicadas a los residuos generados en este otro tipo de plantas.

6 REFERENCIAS

- ¹ BALLESTER O, José F. *Cactus y plantas suculentas*. Floraprint, España
- ² DELVASTO A., Silvio. *Investigación de los mecanismos de adherencia en la interface del material compuesto hormigón – fibra natural de fique y de la optimización de su comportamiento a la tenacidad en servicio* Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia – España 1997.
- ³ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Biblioteca de la Construcción. Bhandar Editores. Colombia, 2001
- ⁴ UNE-EN 934-2 *Aditivos para Hormigones, Morteros y Pastas. Parte 2: Aditivos para Hormigones. Definiciones, Requisitos, Conformidad, Marcado y Etiquetado*. 2002
- ⁵ DE GUTIERREZ R. *Fique as raw construction material*. University of Valle, Cali, Colombia. RILEM, 1990
- ⁶ CHÁVEZ H, FLÓREZ F. *Factibilidad técnica de producir aditivos para construcción por extracción de compuestos poliméricos de jugos residuales de la fibra de fique*. Tesis Ingeniero Químico. Universidad del Valle, Cali – Colombia, 1995
- ⁷ AAVIK J, CHANDRA S. *Influence of organic admixture and testing method on freeze-thaw resistance of concrete*. ACI Materials Journal, January-February 1995
- ⁸ CLIMENT P, Antonia. *Uso de extractos de plantas suculentas para la preparación de morteros y hormigones de cemento portland*. Proyecto final de carrera. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2002
- ⁹ UNE-EN 480-8. *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de Ensayo. Parte 8: Determinación del extracto seco convencional*. Marzo 1997
- ¹⁰ UNE 83-207- 85. *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación de la pérdida por calcinación a 1050 ± 25° C*. 1985
- ¹¹ UNE 83208. *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación del residuo insoluble en agua desionizada*. Julio 2002
- ¹² UNE 83-212-89 *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación del contenido de reductores (poder reductor)*. 1989
- ¹³ UNE 83-210-88 *Determinación del contenido de halógenos totales*. 1988
- ¹⁴ UNE 83-227-86 *Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación del pH*, 1986
- ¹⁵ DOUGLAS A. Skoog, JAMES J. Leary. *Análisis instrumental*. Mc Graw-Hill, cuarta edición, 1991
- ¹⁶ T HATAKEYANA, ZHENHAI Liu *Handbook of thermal analysis* Wiley 1998
- ¹⁷ WILLARD, MERRIT, DEAN AND SETTLE. *Métodos instrumentales de análisis*. Grupo Editorial Iberoamérica, 1991
- ¹⁸ UNE-EN 196-3 *Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen*, Abril 1996
- ¹⁹ UNE-EN 196-1 *Métodos de ensayo de cementos. Parte: Determinación de resistencias mecánicas*, Abril 1996

-
- ²⁰ UNE-EN 480-2 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. *Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación del tiempo de fraguado*. Marzo de 1997
- ²¹ UNE-EN 480-1 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. *Métodos de ensayo. Parte 1: Hormigón y mortero de referencia para ensayos*. Junio 1998
- ²² UNE-EN 480-5 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. *Métodos de ensayo. Parte 5: Determinación de la absorción capilar*. Marzo de 1997
- ²³ 83-258-88 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. *Morteros: Determinación de la consistencia por medio de la mesa de sacudidas*. 1988
- ²⁴ S. CHANDRA, L. EKLUND, RR. VILLAREAL. *Use of cactus in mortars and concrete*. Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 1. 1998
- ²⁵ CABRERA J.G., NWAUBANI S.O. *Experimental methods for the preparation of palm fruit and other natural fibres for use in reinforced cement composites*. Department of Civil Engineering, University of Leeds, England. RILEM, 1990
- ²⁶ PALACIOS, M. SIERRA, C. PUERTAS, F. *Métodos y técnicas de caracterización de aditivos para el hormigón*. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – Respsol YPF. Madrid, 2002
- ²⁷ VELÁZQUEZ R. SERGIO. *Aplicaciones del Catalizador de Craqueo Catalítico Usado (FCC) en la Preparación de Conglomerantes Hidráulicos. Estudio de sus Propiedades Puzolánicas*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia – España, 2002
- ²⁸ SPIRATOS, N et al. *Superplasticizers for concrete: Fundamentals, Technology, and Practice*. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa, Canada 2003